كهرباء وإلكترونيات

ELECTRICITY AND ELECTRONICS

م. معن توفيق حدادين
م. حيدر عبد المجيد المومني
م. عبد العزيز أبو سرحان
م. غازي محمد القريوتي
م. محمد منصور المعاني
م. عماد عبد العزيز الحوراني



مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

كهرباء وإلكترونيات

Electricity And Electronics

تأليف

المهندس/ معن توفيق حداديـــن — المهندس/ غازي محمد القريوتـــي

المهندس/حيدر عبد المجيد المومني — المهندس/محمد منصور المعانـــي

المهندس/عبد العزيز أبو سرحـــان — المهندس/عماد عبد العزيز الحوراني

كلية الهندسة التكنولوجية – عمان – جامعة البلقاء التطبيقية

الطبعة الثانية

2013م – 1434هـ

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2008/6/1142)

537.1

حدادين، معن

كهرباء والكترونيات/معن حدادين، غازي القريوتي وآخرون.- عمان: مكتبة المجتمع 2008.

ج 1 (458) ص.

ر.إ.: 2008/6/1142

الواصفات: /الكهرباء/

• أعدت دائرة المكتبة الوطنية بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية

الطبعة العربية الثانية

2013م – 1434هـ

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

عمان – وسط البلد – ش. السلط – مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس 4632739 ص.ب. 8244 عمان 11121 الأردن

عمان – ش. الملكة رانيا العبد الله – مقابل كلية الزراعة –

مجمع زهدي حصوة التجاري

www: muj-arabi-pub.com

Email: Moj_pub@hotmail.com

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

فيسرّنا أن نقدم لطلبتنا الأعزاء هذا الجهد المتواضع الذي نرجو أن يسهّل عليهم دراسة مادة (كهرباء وإلكترونيات) لبرنامج الدبلوم في التخصصات الهندسية المختلفة في كليات المجتمع المتوسطة ، وأن يكون أيضاً ذا فائدة لطلبة برنامج البكالوريوس في تخصصات الهندسة غير الكهربائية ، ومن المؤمل أن يسدّ هذا الكتاب فجوة في المكتبة العربية التي تندر فيها المراجع في هذا المجال .

يتكون هذا الكتاب من إحدى عشرة وحدة ، جاءت أولاها لتلقي بعض الضوء على الكميات الكهربائية المختلفة مثل الشحنة والتيار وفرق الجهد والقدرة والطاقة إضافة إلى العناصر الأساسية للدائرة الكهربائية . أما الوحدة الثانية فمحورها عدد من القوانين والنظريات لتحليل الدوائر الكهربائية مثل قانون أوم وقوانين كيرشوف وقوانين التحويل من توصيل مثلثي إلى نجمي وبالعكس ونظرية التراكب ونظرية التطابق ، كما تغطي بعض المواضيع الأخرى مثل تأثير الحرارة على المقاومة الكهربائية وتوصيل المقاومات على التوالي وعلى التوازي وبشكل مركب .

وتعالج الوحدة الثالثة دوائر التيار المتناوب وعناصرها كالمقاومة والملف والمكثف ودوائر رنين التوالي ورنين التوازي إضافة إلى شحن المكثف وتفريغه ، واستخدام قوانين كيرشوف في تحليل دوائر التيار المتناوب .

الوحدة الرابعة تتناول موضوع المغناطيسية والقوانين الخاصة بالدوائر المغناطيسية مثل قانون أوم وقانون لينز وقانوني فارادي الأول والثاني وقانوني كيرشوف ، كما تتطرق إلى موضوع الحث الكهرومغناطيسي ؛ في حين تبحث الوحدة الخامسة في موضوع المحولات الكهربائية أحادية الطور وثلاثية الأطوار والمحول الذاتي ومحولات العزل والقياس .

الآلات الكهربائية هي محور الوحدة السادسة التي تتناول بقدر من التفصيل الآلات الكهربائية من مولدات ومحركات سواء ما يعمل منها بالتيار المستمر أو التيار المتردد أحادي الطور أو ثلاثي الأطوار .

أما الوحدة السابعة فتعالج دوائر الإلكترونيات والعناصر الإلكترونية وتطبيقاتها العملية ، مثل الديود والترانزستور ثنائي القطبية وترانزستور تأثير المجال والترانزستور أحادي الوصلة والثايرستور والدياك والترياك والدوائر المتكاملة ومكبر العمليات .

تتركز الوحدة الثامنة على البوابات المنطقية الأساسية ودوائر النطاطات والعدادات . أما الوحدة التاسعة فتبحث في أجهزة القياس من حيث التصنيف والتركيب ومبدأ العمل وتشمل جهاز القياس بملف متحرك واستخدامه في القياس في دوائر التيار المستمر ودوائر التيار المتناوب ، إضافة إلى جهاز القياس بحديدة متحركة وجهاز القياس الكهروديناميكي وجهاز القياس الحثي وأجهزة قياس التردد وأجهزة القياس المعتمدة على المقارنة كالجسور ومجزئات الجهد ، إضافة إلى أجهزة القياس الرقمية وجهاز راسم الإشارة والاستفادة منه في رسم الإشارات الكهربائية وقياس الجهد والتردد وزاوية فرق الطور .

تتناول الوحدة العاشرة مصادر القدرة الكهربائية بأنواعها من بطاريات مع توصيلاتها المختلفة ومصادر القدرة التي تستخدم الطاقة الشمسية ، إضافة إلى مصادر التحويل من تيار متناوب إلى مستمر ومن مستمر إلى متناوب ومن مستمر إلى مستمر ومن متناوب إلى متناوب .

أما الوحدة الحادية عشرة والأخيرة فقد خصصت لأجهزة الحماية والتحكم الكهربائية مثل المصهرات بأنواعها ، وقواطع الدائرة بأنواعها والمرحلات بأنواعها .

ولعل أبرز ما يميز هذا الكتاب احتواؤه العديد من الأمثلة المحلولة ، كما تنتهي كل وحدة بمجوعة من الأسئلة بهدف التقييم الذاتي . وقد ختم الكتاب بمجموعة كبيرة

من الأسئلة التي ورد العديد منها في الامتحان العام لكليات المجتمع في سنوات متفرقة، هـذا إضـافة إلى قائمـة بالمصـطلحات العلمية الواردة في الكتاب باللغتين العربية والإنجليزية وقائمة بالمراجع .

لقـد بذلنا عناية فائقة في إخراج هذا الكتاب إلى حيز الوجود بأفضل صورة ممكـنة ، ومـع ذلك فإننا لا نستبعد الوقوع في الخطأ هنا وهناك . ونحن بطبيعة الحال نرحب بأي ملاحظة أو نقد من زملائنا أو من طلبتنا أو من المهتمين في هذا المجال .

والله نسـأل أن يوفقـنا لخدمة بلدنا وأمتنا وطلبتنا الأعزاء شاكرين كل من كانت له مساهمة في هذا الكتاب .

المؤلفون

الفهرس

الوحدة الأولى

الوحدة الثانية

الوحدة الثالثة

الوحدة الرابعة

الوحدة الخامسة

الوحدة السادسة

الوحدة السابعة

الوحدة الثامنة

الوحدة التاسعة

الوحدة العاشرة

الوحدة الحادية عشرة

الوحدة الأولى

تعريفات ومفاهيم عامة

النظام العالمي للوحدات
الشحنة الكهربائية
التيار الكهربائي
فرق الجهد
القدرة والطاقة الكهربائية
العناصر الأساسية للدائرة الكهربائية

الوحدة الأولى

تعريفات ومفاهيم عامة

١- النظام العالمي للوحدات (SI) :-هو نظام يسمح للباحثين والعلماء في كافة المجالات الفيزيائية والهندسية من نشر النتائج لأبحاثهم في مختلف دول العالم .
ويعتمد الوحدات الأساسية متر- كيلوغرام - ثانية (m, kg, s) لتحديد المسافة والكتلة والزمن بالإضافة إلى وحدات السنتيمتر والغرام والثانية (cm , g , s) .

٢- النظام البريطاني للوحدات :- هو نظام يعتمد الوحدات الأساسية :-
قدم - باوند - ثانية .

ويشتق من النظام العالمي للوحدات عدة وحدات تسمى الوحدات المشتقة ، وهي :-

- الكولوم (Coulomb) لقياس الشحنة .
- درجة كلفن (Kelvin) ، ودرجة الحرارة المئوية (Celsius) لقياس درجة الحرارة .
- النيوتن (Newton) لقياس القوة (Force) .
- الواط (Watt) لقياس القدرة (Power) .
- الجول (Joule) لقياس الطاقة (Energy) .
- الأمبير (Ampere) لقياس التيار الكهربائي (Electric Current) .
- الفولت (Volt) لقياس فرق الجهد الكهربائي (Electric Voltage) .
- الاوم (Ohm) لقياس المقاومة الكهربائية (Electric Resistance) .

مـــن الضروري في كثير من الأحيان استخدام مضاعفات أو أجزاء الوحدات الأساسية والمشـــتقة الســـابقة والجـــدول (١-١) يـــبين ملخصاً لأهم أجزاء ومضاعفات هذه الوحدات :-

الوحدة	المصطلح	الرمز	القيمة العددية
تيرا	Tera	T	10^{12}
جيجا	Giga	G	10^{9}
ميجا	Mega	M	10^{6}
كيلو	kilo	k	10^{3}
هيكتو	hecto	h	10^{2}
سانتي	centi	c	10^{-2}
ميلي	milli	m	10^{-3}
مايكرو	micro	μ	10^{-6}
نانو	nano	n	10^{-9}
بيكو	pico	p	10^{-12}
فيمتو	femto	f	10^{-15}

- جدول (١-١)-

مثال (١-١) : حول القيم التالية إلى قيمها العددية الأساسية :-

أ- $10.7\ MW$.   ب- $5.9\ \mu s$.

الحل :-

أ-

$$10.7\ MW = 10.7 \times 10^{6}\ W = 10700000\ W$$

ب-

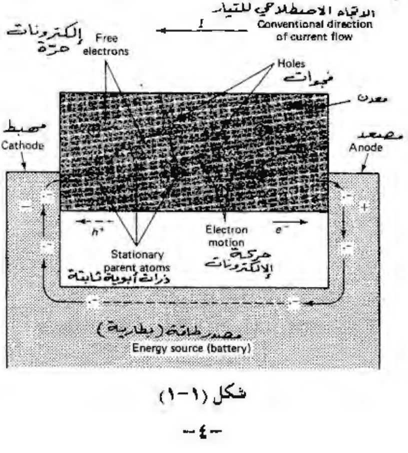
$$5.9\ \mu s = 5.9 \times 10^{-6}\ s = 0.0000059\ s$$

الشحنة الكهربائية (Electric Charge) :-

الأبحاث الحديثة التي أجريت على العناصر الموجودة في الطبيعة مثل الهيدروجين والأكسجين والنحاس والرصاص والسيليكون وغيرها ، تثبت أن ذرات هذه العناصر تحتوي على عدد من البروتونات موجبة الشحنة وعدد من النيوترونات متعادلة الشحنة وعدد من الإلكترونات سالبة الشحنة تدور حول نواة الذرة بمدارات محددة ، وأن شحنة البروتون تساوي شحنة الإلكترون ، وعدد الإلكترونات في الذرة يساوي عدد البروتونات . وتكون الذرة في هذه الحالة متعادلة الشحنة .

يمكن للإلكترونات الموجودة في المدار الأخير للذرة الانتقال من ذرة إلى أخرى وفي هذه الحالة تصبح الذرة ذات شحنة موجبة إذا فقدت إلكتروناً أو أكثر، بينما تصبح ذات شحنة سالبة إذا اكتسبت إلكتروناً أو أكثر .

في حال وضع العنصر تحت تأثير مصدر قدرة خارجي(بطارية)كما هو مبين في الشكل (١-١) :-



شكل (١-١)

فـإن الإلكترونات سوف تتحرك بواسطة تأثير المصدر الخارجي باتجاه القطب الموجب للمصـــدر ، وبالتالي يتم نقل الشحنة من موضع إلى آخر ، وعند انتقال الإلكترون من ذرة إلى أخرى فانه يخلف ثقباً (hole) بشحنة موجبة يتحرك في الاتجاه المعاكـس لحركة الإلكترون . وتدعى الإلكترونات والثقوب حاملات الشحنة .

كما هو مبين في الشكل (١-١) ،يمكن تشبيه عمل مصدر الجهد (البطارية) بمضـــخة (Pump) تعمـــل على ضخ عدد من الإلكترونات من أحد أطراف الموصل (الطرف الموصول مع القطب الموجب) وتزويد نفس العدد من الإلكترونات للموصل من الطرف الآخر (الطرف الموصول مع القطب السالب) . وبالتالي فان الموصل يبقى مـتعادل الشـــحنة في أي لحظـــة ، أي أن مجموع الشحنة السالبة في الموصل يساوي مجموع الشحنة الموجبة حتى لو تم انتقال الشحنة داخل الموصل .

يرمـــز للشحنة بالرمز (q) ووحدة قياسها هي الكولوم (coulomb) ويرمز له بالرمز (C) في النظام العالمي للوحدات (SI) . والكولوم يساوي :-

$$1\,C = \text{Charge on } 6.242 \times 10^{18} \text{ electrons}$$

حامل الشحنة يساوي :-

$$1\,h^{+} = \frac{1}{6.242 \times 10^{18}} = 1.602 \times 10^{-19}\ C$$

مثال (١-٢) .

احسب كمية الشحنة لـ 10×10^{6} من حاملات الشحنة (الثقوب) .

الحل :-

كمية الشحنة = عدد حاملات الشحنة × شحنة الثقب .

$$q = 10 \times 10^{6} \times 1.602 \times 10^{-19} = 1.602 \times 10^{-12}\ C = 1.602\ p\,C$$

التيار الكهربائي (Electric Current) :-

يعــرف التــيار الكهربائي بأنه حركة حاملات الشحنة (الإلكترونات أو الثقوب) خــلال مقطع لناقل كهربائي (مثل سلك النحاس) . يرمز للتيار بالرمز I في دوائر التيار المستمر(أو المباشر) ، وبالرمز i في دوائر التيار المتناوب .

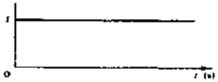
والتيار الكهربائي يساوي كمية الشحنة خلال وحدة الزمن :- $I = \frac{q}{t}$

ويقــاس التــيار بالأمــبير (A) الذي يعرف بأنه المقدار الناتج عن مرور شحنة قدرها كولوم واحد (1 C) خلال زمن قدره ثانية واحدة :- $1\,A = 1\frac{C}{s}$

إذا كان تدفق حاملات الشحنة متغيراً مع الزمن فان التيار يعطى بالعلاقة :-

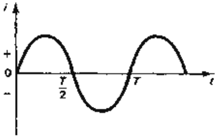
$$i = \frac{dq}{dt} \qquad [A]$$

يعــرف التيار المستمر بأنه التيار الذي لا تتغير قيمته واتجاهه مع الزمن كما هو مبين في الشكل (١-٢) :-



شكل (١-٢)

ويعــرف التيار المتناوب بأنه التيار الذي تتغير قيمته واتجاهه مع الزمن كما هو مبين في الشكل (١-٣) الذي يبين موجة تيار جيبية الشكل :-



شكل (١-٣)

مثال (١-٣)

احسب التيار المار في موصل إذا كان تدفق حاملات الشحنة يساوي $7.5\ C$ لمدة $0.6\ min$.

الحل :-

$$I = \frac{q}{t} = \frac{7.5}{0.6 \times 60} = 0.2083\ A$$

مثال (١-٤)

اذا كان التيار المار في موصل يساوي $5\ A$ احسب الزمن اللازم لتدفق $4\ mC$ خلال هذا الموصل .

الحل :-

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow t = \frac{q}{I} = \frac{4 \times 10^{-3}}{5} = 0.8 \times 10^{-3} = 0.8\ ms$$

الجهد أو فرق الجهد (Potential or Voltage) :-

مصدر الجهد هو مصدر يتم الحصول عليه من عملية تحويل قدرة مصدر ما إلى القدرة الكهربائية ، مثل تحويل القدرة الكيميائية (البطاريات) أو تحويل القدرة الميكانيكية (المولدات) أو تحويل القدرة الضوئية (الخلايا الضوئية) أو تحويل القدرة الحرارية (الازدواج الحراري) إلى قدرة كهربائية .

مصدر القدرة الكهربائي يعطي فرق جهد بين نقطتين تمثلان أطراف هذا المصدر ، ويكون جهد إحدى النقطتين أعلى من جهد النقطة الأخرى ، وتعطى إشارة (+) للنقطة ذات الجهد المرتفع وإشارة (−) للنقطة ذات الجهد المنخفض .

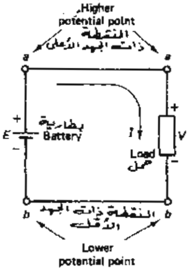
وفي بعض الأحيان تعطى هذه النقاط أرقاماً مختلفة مثل (10 ,4 ,5 − ,1 −) .

الشكل (١−٤) يبين مصدر جهد مستمر(مباشر) .



شكل (١−٤)

حيث ان (E) تمثل فرق الجهد بين النقطتين (a,b) أو بمعنى آخر جهد المصدر . وفي حال وصل مصدر الجهد مع حمل خارجي كما هو مبين في الشكل (١−٥) ، فان حاملات الشحنة الموجبة سوف تنقل إلى الطرف السالب لمصدر الجهد وبالتالي فان التيار سوف ينتقل من الطرف الموجب للمصدر عبر الحمل إلى الطرف السالب للمصدر ، ومن الطرف السالب إلى الطرف الموجب خلال المصدر .



شكل (١−٥)

وتعطى القوة الدافعة الكهربائية (Electromotive Force)(الجهد أو فرق الجهد) بالعلاقة :-

$$E = V = V_{ab}$$

وهذا يعني أن الجهد أو فرق الجهد V_{ab} هو عبارة عن الفرق بين جهد النقطة (a) وجهـد الـنقطة (b) . ويعـرف الجهـد (فرق الجهد) بين نقطتين في الدائرة الكهربائـية بأنـه كمية الشغل (الطاقة) المبذول لتحريك وحدة الشحنة من النقطة الأولى إلى النقطة الثانية ، أي أن :-

$$V \quad or \quad E = \frac{W}{q} \qquad [Volt]$$

وحدة قياس الجهد هي الفولت (Volt) ، ويعرف الفولت بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة مقدارها كولوم واحد ($1C$) بين نقطتين في الدائرة الكهربائية .

$$1\,V = \frac{1\,J}{1\,C} \quad \left[\frac{1\,Joule}{1\,Coulomb}\right]$$

مثال (١-٥)

بطاريـة تحتاج لبذل شغل مقداره $55\,J$ لتحريك شحنة مقدارها $50\,C$ بين أطراف البطارية ، المطلوب حساب جهد البطارية .

الحل :-

$$V = \frac{W}{q} = \frac{55\,J}{50\,C} = 1.1\,V$$

مثال(١-٦)

مـرور تيار مقداره $0.3\,A$ خلال موصل ينتج طاقة حرارية مقدارها $9.45\,J$ خلال $5\,s$ ، احسب فرق الجهد بين طرفي الموصل .

الحل :-

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = I.t = 0.3 \times 5 = 1.5\,C$$

$$V = \frac{W}{q} = \frac{9.45}{1.5} = 6.3\,V$$

القدرة والطاقة الكهربائية (Electric Power and Energy) :-

تعـرف القـدرة بأنها كمية الشغل المبذول خلال فترة زمنية معينة ، ويرمز للقـدرة بالرمـز (P) وللشغل بالرمز (W) ، وتقاس القدرة بالواط (Watt) وهو عبارة عن بذل شغل مقداره جول واحد (1 Joule) خلال ثانية واحدة .وتعطى القدرة بالعلاقة التالية :-

$$P = \frac{W}{t} \qquad [Watt]$$

$$1\,W = 1\,\frac{J}{s}$$

ويمكن كتابة القدرة بعلاقتها مع الجهد والتيار بالعلاقة التالية :-

$$P = \frac{W}{t} = \frac{W}{q} \times \frac{q}{t} = V \times I$$

$$1\,W = 1\,V \times 1\,A$$

وإذا كان الجهد والتيار متغيرين مع الزمن فان القدرة تعطى بالعلاقة التالية :-

$$p = v.i \qquad [Watt]$$

أي يمكـن حسـاب القـدرة المستهلكة في أي عنصر بضرب فرق الجهد المطبق على العنصر بالتيار المار من خلال العنصر .

وتقاس القدرة في النظام البريطاني للوحدات بالحصان (hp) حيث أن :-

$$1\,hp = 746\,Watt = 0.746\,KW$$

مثال (١-٧)

احسب القدرة المزودة من مصدر جهد $30\,V$ إذا كان التيار الناتج من هذا المصدر يساوي $2\,A$.

الحل :-

$$P = V.I = 30 \times 2 = 60\,Watt$$

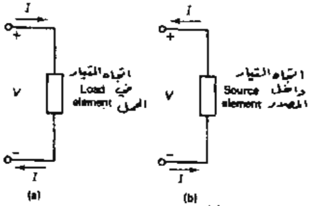
مثال (١–٨)

احسب التيار المار من خلال لمبة قدرتها $60\ Watt$ إذا كان الجهد المطبق على طرفيها $120\ V$.

الحل :–

$$P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{60}{120} = 0.5\ A$$

إن مصدر الجهد يقوم بتزويد الحمل الموصول معه بالقدرة عندما ينتقل التيار من الطرف ذي الجهد المرتفع إلى الطرف ذي الجهد المنخفض خلال الحمل ، ومن الطرف ذي الجهد المنخفض إلى الطرف ذي الجهد المرتفع خلال مصدر التغذية كما هو مبين في الشكل (١–٦)



شكل (١–٦)

الطاقة الكهربائية :–

تعرف الطاقة الكهربائية بأنها حاصل ضرب القدرة المستهلكة في الزمن ،وتقاس بالجول (Joule) وهو عبارة عن (واط . ثانية) ، ومن اجل القيم الكبيرة للطاقة المستهلكة فانه تستخدم وحدة (كيلو واط . ساعة) كوحدة للقياس . وتعطى الطاقة الكهربائية المستهلكة بالعلاقة التالية :–

$$W = P \times t \qquad [Joule]$$
$$= V \times (I \times t) = V.q$$

$$1\ KWh = 1000\ W \times 3600\ s$$
$$= 3.6 \times 10^6\ W.s = 3.6 \times 10^6\ J$$

مثال (١-٩)

إذا كان سعر الكيلوواط .ساعة يساوي 6 فلسات احسب التكلفة لتشغيل لمبة قدرتها 60 *watt* لمدة 6 أيام .

الحل :-

$$W = P.t$$
$$6\ days = 6 \times 24 = 144\ h$$
$$W = 60 \times 10^{-3} \times 144 = 8.64\ KWh$$

التكلفة تساوي $8.64 \times 6 = 51.84\ Fils$

الكفاءة أو المردود (Efficiency) :-

عند تحويل القدرة من شكل إلى آخر ، فانه يتم خلال عملية التحويل فقدان جزء من القدرة المحولة ، وتكون قيمة القدرة الداخلة (P_{in}) اكبر من القدرة الخارجة (P_{out}) ، والمردود يحدد النسبة بين القدرتين ، ويرمز له بالرمز (η) ، والمردود يكون اقل من % 100 . ويعطى بالعلاقة :-

$$\eta\ \% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

مثال (١-١٠)

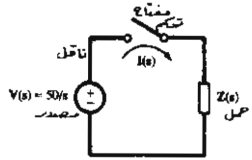
احسب قدرة الدخل لمحرك قدرته تساوي 2 *hp* إذا كان مردود هذا المحرك يساوي % 80 .

الحل :-

$$\eta\ \% = 80 = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{2 \times 746}{P_{in}} \times 100 \Rightarrow$$
$$P_{in} = \frac{2 \times 746}{0.8} = 1865\ Watt$$

العناصر الأساسية للدائرة الكهربائية :-

الشكل (١-٧) يبين العناصر الرئيسية التي تتألف منها الدائرة الكهربائية وهذه العناصر هي :-



شكل (١-٧)

١-مصادر التغذية .

٢-النواقل .

٣- دوائر التحكم.

٤- الأحمال الكهربائية .

١-مصادر التغذية :-

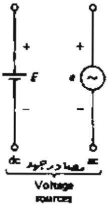
تقسم مصادر التغذية في الدوائر الكهربائية إلى قسمين أساسيين هما :-

أ- مصادر الجهد (Voltage Sources) :-وهي مصادر تعطي فرق جهد بين أطرافها ، وهي مصادر جهد مستمر أو مصادر جهد متناوب ، وهذه المصادر تقسم إلى قسمين أساسين :-

١- مصادر الجهد المثالية :- وتعرف هذه المصادر بأنها مصادر التغذية التي تعطي جهداً ثابتاً على أطرافها (جهد المخرج لها لا يتغير مع تغير قيمة الحمل الموصول مع هذه المصادر) ، وتمتاز بأن مقاومتها الداخلية تساوي الصفر ($R_i = 0$) .

٢- مصـــادر الجهد العملية :-وهذه المصادر تتغير قيمة الجهد على أطرافها بتغير الحمل ، وتمتاز هذه المصادر بوجود مقاومة داخلية .

الشكل (١-٨) يبين الرموز المستخدمة لهذا النوع من مصادر التغذية :-



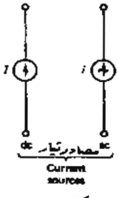
شكل (١-٨)

ب- مصادر التيار (Current Sources) :- وهي مصادر تعطي تيارا بين أطرافها، ويمكـــن أن تكـــون مصـــادر تيار مستمر أو مصادر تيار متناوب، وتقسم إلى قسمين أساسين :-

١- مصدر تيار مثالي :- مقاومته الداخلية لانهائية ($R_i = \infty$).

٢- مصدر تيار عملي :- مقاومته الداخلية ليست كبيرة جداً .

الشكل (١-٩) يبين الرموز المستخدمة لهذا النوع من المصادر :-



شكل (١-٩)

ويمكن في الدوائر الكهربائية التحويل من مصادر الجهد إلى مصادر التيار وبالعكس .

٢-النواقل :- تستخدم في الدوائر الكهربائية مواد ذات موصلية جيدة من اجل إيصال التيار الكهربائي من مصدر التغذية إلى الحمل ، والعناصر الموجودة في الطبيعة تصنف إلى عدة أصناف من حيث توصيلها للتيار الكهربائي ، وهي :-

أ-مواد موصلة :- وتمتاز بوجود عدد كبير من الإلكترونات الحرة في المدارات الخارجية لذراقا، وتمتاز كذلك بمقاومتها القليلة لمرور التيار الكهربائي مثل النحاس والفضة .

ب-مواد شبه موصلة :- وتمتاز بوجود عدد من الإلكترونات الحرة في المدارات الخارجية لذراقا ولكن بعدد أقل من ذلك الموجود في المواد الموصلة ، مثل السيليكون والجرمانيوم ،وتستخدم في صناعة العناصر الإلكترونية مثل الديودات والترانزستورات .

ج- مواد عازلة :- وتمتاز بوجود عدد قليل من الإلكترونات الحرة في المدارات الخارجية لذراقا ، وتمتاز كذلك بمقاومتها الشديدة لمرور التيار الكهربائي مثل الزجاج والخشب والسيراميك والبلاستيك ، وتستخدم لعزل الأسلاك الكهربائية المستخدمة لنقل القدرة الكهربائية .

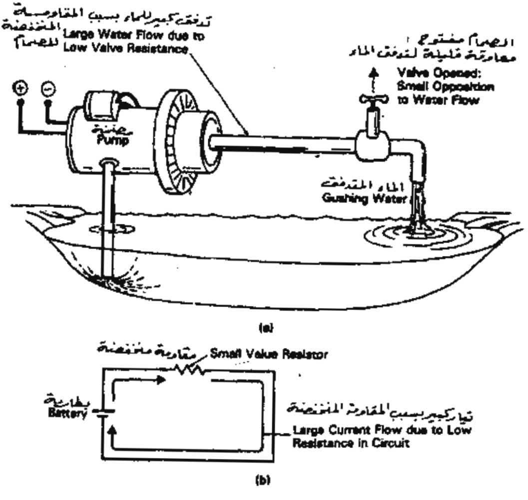
٣-دوائر التحكم :-

وهي الدوائر التي تحدد عمل الدوائر الكهربائية من حيث إيصال أو فصل التيار الكهربائي . وهذه الدوائر يمكن أن تكون دوائر بسيطة كما في حال استخدام مفتاح لوصل أو فصل التيار الكهربائي ، ويمكن أن تكون دوائر تحكم معقدة كما هو الحال في دوائر التحكم الخاصة بتشغيل مجموعة من الآلات الكهربائية والعناصر الكهربائية في خطوط الإنتاج .

٤- الأحمال الكهربائية :- تقسم الأحمال الكهربائية إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي :-

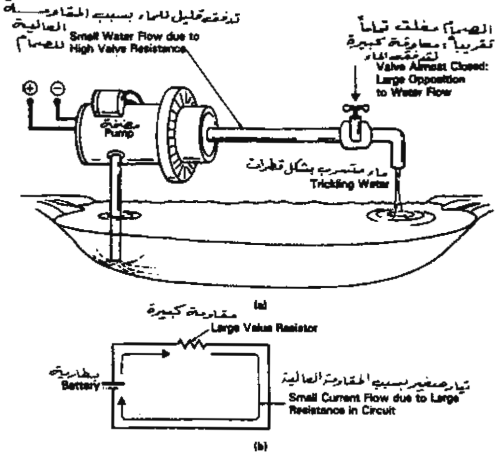
أ-الأحمال الأومية :- وهي عبارة عن المقاومة الكهربائية (Resistance) ، ويرمز لها بالرمز (R) وتقاس بالأوم (Ohm) الذي يرمز له بالرمز (Ω) .

لتوضيح علاقة المقاومة بالتيار الكهربائي في الدوائر الكهربائية نأخذ المثال التالي :-
في الشكل (١-١٠-a) تم فتح الصمام بشكل كامل تقريباً وبالتالي فان المعاوقة لتدفق الماء خلال الأنبوب تكون قليلة وتتدفق كمية كبيرة من المياه في هذه الحالة ،في الشكل (١-١٠-b) تم تمثيل حالة مشابهة لهذه الحالة بوصل مقاومة قليلة مع مصدر الجهد ، وفي هذه الحالة سوف يمر تيار كبير خلال الموصل في هذه الدائرة .



شكل (١-١٠)

في الشـــكل (١-١١-a) تم إغلاق الصمام بشكل كامل تقريباً وبالتالي يوجد في هذه الحالة معاوقة (مقاومة) كبيرة لتدفق الماء خلال الأنبوب وبالتالي فان كمية الماء المتدفق ســـوف تكون قليلة ، في الشكل (١-١١-b) تم تمثيل حالة مشابهة لهذه الحالة بوصل مقاومـــة كـــبيرة القـــيمة مع مصدر الجهد، حيث يمر تيار قليل خلال النواقل في هذه الدائرة .

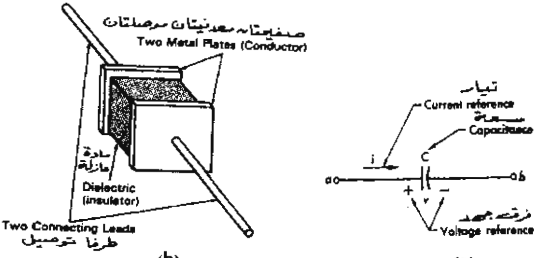


شكل (١-١١)

إذا تم إغـــلاق الصمام بشكل كامل فانه في هذه الحالة لن يتدفق الماء ، وهي تمثل حالة الدائـــرة الكهربائية المفتوحة (Open Circuit) ، ويكون التيار المار خلال النواقل في هذه الحالة مساوياً للصفر . من المثال السابق نستنتج أن المقاومة تتناسب تناسباً عكسياً مع التيار ، فكلما زادت قيمة المقاومة قل التيار ، والعكس صحيح .

ب-الأحمال السعوية (Capacitive Loads) :-

وهـــي عبارة عن المكثفات ، والمكثف هو عنصر كهربائي يتألف من طبقتين من معدن موصل بينهما طبقة عازلة من الورق أو الهواء أو الزجاج أو الســراميك أو الميكا . الشكل (١-١٢- a) يبين رمز المكثف .
والشكل (١-١٢-b) يبين تركيب المكثف .



(b) (a)

شكل (١-١٢)

تعرف سعة المكثف بأنها قدرة المكثف على تخزين الشحنة الكهربائية . ويرمز لها بالرمز (C) ، وتقـــاس بالفاراد (Farad) . وتعتمد سعة المكثف على مساحة الألواح الموصلة ونوع المادة العازلة بين لوحيه ، إضافة إلى المسافة بين اللوحين .

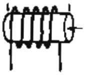
ج-الأحمال الحثية (Inductive Loads) :-

وهـــي عبارة عن الملفات ، والملف عبارة عن موصل معزول (سلك معزول) يلف بعدد من اللفات حول قلب مصنوع من معدن موصل أو من مادة عازلة .

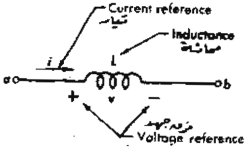
يعـرف الحـث الـذاتي لـلملف بأنه قدرة الملف على إنتاج القوة الدافعة المغناطيسية داخل الملف نتيجة تغير التيار الكهربائي المار في الملف .ويرمز للحث الذاتي للملف بالرمز (L) ، ويقاس بالهنري (Henry) .

وقيمة الحث الذاتي للملف تعتمد على عدد لفات الملف ، ومساحة مقطع وطول الملف وطبيعة المادة المصنوع منها القلب .

الشكل (١-١٣-a) يبين رمز الملف ، والشكل (١-١٣-b) يبين تركيب الملف .



(b)



(a)

شكل (١-١٣)

الأمثلة

١-١-احسب الشحنة بالكولوم لثقوب عددها يساوي (5×10^{19}) .

١-٢- احسب عدد الإلكترونات المشكلة لشحنة مقدارها ($4.5\ mC$) .

١-٣-احسب الزمن اللازم لنقل شحنة مقدارها $80\ mC$ في صفيحة معدنية إذا كان التيار المار خلالها يساوي $2\ A$.

١-٤- احسب الجهد بين طرفي بطارية تعطي شغلاً قدره $80\ J$ لشحنة مقدارها $16\ C$.

١-٥-احسب الطاقة المستهلكة الناتجة عن مرور تيار مقداره $2\ A$ في حمل لمدة 30 min نتيجة تطبيق جهد $120\ V$.

الوحدة الثانية

قوانين ونظريات تحليل الدوائر الكهربائية .

المقاومة .

قانون اوم .

القدرة في المقاومة .

المقاومات الموصولة على التوالي .

قانون تقسيم الجهد .

المقاومات الموصولة على التوازي .

قانون تقسيم التيار .

المقاومات الموصولة بشكل مركب .

قوانين كيرشوف .

قوانين التحويل من مثلث الى نجمي وبالعكس .

مصادر الجهد .

مصادر التيار .

نظرية التراكب .

نظرية التطابق .

الوحدة الثانية

قوانين ونظريات تحليل الدوائر الكهربائية

المقاومة وقانون اوم (Resistance and Ohm's Law) :-

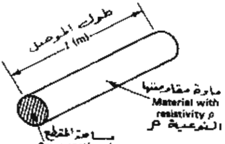
عند تطبيق جهد على طرفي موصل فإن الإلكترونات الحرة لذرات هذا الموصل سوف تنتقل من ذرة إلى أخرى ، مما يؤدي إلى مرور التيار من خلال الموصل ، وبالتالي تحويل القـــدرة الكهربائـــية إلى شكل آخر من أشكال القدرة ، مثل القدرة الحرارية في حالة المسخن الكهربائي أو القدرة الضوئية في حالة استخدام المصابيح .

وحســـب نوعـــية الموصـــل فان هذا الموصل يبدي مقاومة لمرور التيار ، والتي تدعى بالمقاومة الكهربائية (Electrical Resistance) .

العوامل المؤثرة في المقاومة الكهربائية (Factors Affecting Resistance) :-

حسب طبيعة كل معدن فانه يمكن أن يبدي مقاومة للتيار الكهربائي تتناسب مع البنية الكريستالية لهذا المعدن ، وهذه الخاصية تحدد بالمقاومة النوعية للمعدن (Specific Resistivity) ويرمز لها بالرمز ρ (rho) .

وتلعـــب أبعاد المعدن دوراً في تحديد قيمة مقاومته الكهربائية ، فكلما زاد طول المعدن تزداد قيمة مقاومته الكهربائية كما هو مبين في الشكل (٢-١) .



شكل (٢-١)

وكلما زادت مســاحة مقطع المعدن (A) ، قلت المقاومة الكهربائية لهذا المعدن .

مما سبق نستنتج أن المقاومة الكهربائية تتناسب تناسباً طردياً مع طول الناقل وعكسياً مع مساحة مقطعه ، وثابت التناسب لهذه العلاقة هو المقاومة النوعية للمعدن . ويمكن كتابة العلاقة التالية :-

$$R = \rho \times \frac{l}{A}$$

حيث أن :- R هي المقاومة الكهربائية وتقاس بالاوم (Ω) .

l هو طول الناقل ويقاس بالمتر (m) .

A هي مساحة مقطع الناقل وتقاس بالمتر المربع (m^2) .

ρ هي المقاومة النوعية للمعدن وتقاس بالاوم .متر ($\Omega . m$) .

الذهب والفضة افضل المعادن توصيلاً للتيار الكهربائي ، والنحاس يأتي في المرتبة الثانية والألمنيوم هو معدن أخف من النحاس ولكن توصيله للتيار الكهربائي اقل منه .

النحاس هو المعدن الأكثر استخداما كموصل جيد للتيار وذلك لرخص ثمنه مقارنةً بالذهب والفضة .

مثال (٢-١)

احسب مقاومة سلك نحاسي طوله $1\,m$ دائري المقطع قطره $2\,mm$ إذا كانت المقاومة النوعية لمادة النحاس تساوي $1.7 \times 10^{-8}\ \Omega . m$.

الحل :-

$$A = \frac{\pi . d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\left(2 \times 10^{-3}\right)^2 = 3.14 \times 10^{-6}\ m^2$$

$$R = \rho \times \frac{l}{A} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{1}{3.14 \times 10^{-6}} = 5.4 \times 10^{-3}\ \Omega$$

مثال (٢-٢)

احسب مقاومة سلك طوله $2.5\,m$ ذي مقطع دائري قطره $1\,mm$ إذا كانت المقاومة النوعية للمادة المصنوع منها السلك تساوي $49 \times 10^{-8}\ \Omega . m$.

الحل :-

$$A = \frac{\pi . d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\left(1 \times 10^{-3}\right)^2 = 7.85 \times 10^{-7}\ m^2$$

$$R = 49 \times 10^{-8} \times \frac{2.5}{7.85 \times 10^{-7}} = 1.56\ \Omega$$

الجدول (٢-١) يبين قيم المقاومة النوعية لبعض المواد .

المقاومة النوعية (Resistivity) $[\Omega . m]$	المعدن (Material)
	الموصلات (Conductors)
1.6×10^{-8}	الفضة (Silver)
1.7×10^{-8}	النحاس (Copper)
2.8×10^{-8}	الألمنيوم (Aluminium)
49×10^{-8}	سبيكة النحاس- نيكل (Copper-Nickel Alloy)
	أشباه الموصلات (Semiconductors)
4×10^{-5}	الكربون (Carbon)
0.45	الجرمانيوم (Germanium)
2500	السيليكون (Silicon)
	العوازل (Isolators)
10^{10}	الورق (Paper)
10^{12}	الزجاج (Glass)
5×10^{11}	الميكا (Mica)

جدول (٢-١)

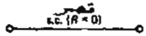
في الدوائر الكهربائية تمثل المقاومة الكهربائية كما هو مبين في الشكل (٢-٢) .



شكل (٢-٢)

هنالك حالتان خاصتان للمقاومة تظهر في الدوائر الكهربائية هما :-

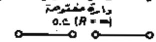
أ- حالـــة القصر (Short) :- وهي تمثل الحالة التي تكون فيها قيمة المقاومة $R = 0\,\Omega$ ، وهي تمثل حالة توصيل سلك كما هو مبين في الشكل (٢-٣) .



شكل (٢-٣)

ب-حالـــة الدائرة المفتوحة (Open Circuit) :- في هذه الحالة تكون قيمة المقاومـــة $R = \infty$ ، وهـــي تمـــثل حالة فصل بين نقطتين في الدائرة كما هو مبين في الشكل (٢-٤) .

وهي تمثل الوضع المفتوح لمفتاح في الدوائر الكهربائية (Open Switch) .



شكل (٢-٤)

الموصلية (Conductance) :-

تعرف الموصلية بأنها قدرة المعدن على توصيل التيار الكهربائي ، وبالتالي فهي عكـــس المقاومـــة ، ويرمز لها بالرمز (G) ، ووحدة قياسها في نظام القياس العالمي هو السيمنـس (Siemens) ويرمز لها بالرمز (S) وتعطى بالعلاقة :-

$$G = \frac{1}{R} \qquad [S]$$

$$G = \frac{A}{\rho . l} = \sigma \times \frac{A}{l} \qquad [S]$$

حيث أن :-

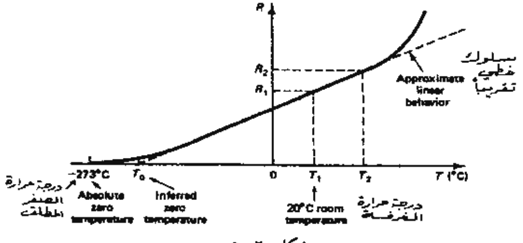
$\sigma = \frac{1}{\rho}$ هي الموصلية النوعية للمادة (Specific Conductivity) . $\left[S/_m\right]$

تأثير الحرارة على المقاومة (Effect of Temperature on Resistance) :-

عند ارتفاع درجة حرارة معدن ما فان ذلك يؤدي إلى زيادة حركة الذرات المكونة للبناء الكريستالي للمادة مما يؤدي إلى وجود قدرة كبيرة من اجل تحريك الإلكترونات الحرة من أحد أطراف المعدن إلى الطرف الآخر عند تطبيق جهد على طرفي هذا الموصل ، مما يؤدي إلى ارتفاع المقاومة لمرور التيار الكهربائي خلال هذا الموصل .

وفي المقاومات ونتيجة مرور التيار لفترات زمنية طويلة فان ذلك يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة لهذه المقاومات وعند ارتفاع درجة الحرارة فان قيم هذه المقاومات تزداد نتيجة لذلك . وفي المواد العازلة فان زيادة درجة الحرارة لها يؤدي إلى تقليل مقاومتها للتيار الكهربائي .

الشكل (٢-٥) يبين علاقة تغير المقاومة (R) لمعدن ما مع التغير في درجة الحرارة (T).



شكل (٢-٥)

المقاومة الكهربائية لأي معدن تساوي الصفر عند درجة حرارة الصفر المطلق $(0\ ^\circ K = -273^\circ C)$.

العلاقــة المبيــنة في الشــكل (٢-٥) تحتوي على جزء يكون فيه تغير درجة الحــرارة خطــياً ، وجــزء آخر تصبح فيه هذه العلاقة غير خطية ، ومن اجل تسهيل دراســة هذه العلاقة نأخذ الجزء الخطي لتغير المقاومة مع درجة الحرارة ، بحيث يمكن كتابة العلاقات التالية :-

$$\frac{R_2}{T_2 - T_0} = \frac{R_1}{T_1 - T_0} \Rightarrow R_2 = R_1 \times \frac{T_2 - T_0}{T_1 - T_0}$$

$$R_2 = R_1 \times \frac{T_1 - T_0 + T_2 - T_1}{T_1 - T_0}$$

ويمكن كتابة العلاقة التالية من العلاقة السابقة :-

$$R_2 = R_1 \left[1 + \alpha\left(T_2 - T_1\right)\right]$$

حيث أن :- $\alpha = \frac{1}{T_1 - T_0}$ هو معامل درجة الحرارة للمقاومة ، ووحدة قياسه هي $^{\circ}C^{-1}$.

وفي العــادة تؤخذ درجة الحرارة T_1 مساوية لدرجة حرارة الغرفة $\left(20^{\circ}C\right)$ ، بينما درجة الحرارة T_2 يمكن أن تكون أي قيمة لدرجة الحرارة عند قيمة المقاومة R_2 .

معامل درجة الحرارة للمقاومة (α) يكون موجب القيمة في المواد الموصلة حيث تزداد قــيمة المقاومة بارتفاع درجة الحرارة ، بينما قيمته تكون سالبة في المواد شبه الموصلة حيــث تقل المقاومة لهذه المواد بارتفاع درجة الحرارة ، وقيمته تكون قليلة (قريبة من الصفر) في المواد العازلة .

مثال (٢-٣)

احسب مقاومة فتيل من مادة التنجستون عند درجة حرارة $200^{\circ}C$ إذا كانت مقاومته تســاوي $10\,\Omega$ عند درجة حرارة الغرفة ($20^{\circ}C$) مع العلم أن معامل درجة الحرارة لمقاومة الفتيل يساوي ($\alpha = 0.005$) .

الحل :-

$$R_2 = R_1\left[1+\alpha\left(T_2-T_1\right)\right]$$
$$R_2 = 10\left[1+0.005\left(200-20\right)\right] = 19\ \Omega$$

الجـــدول (٢-٢) يعطي قيم معامل درجة الحرارة للمقاومة لبعض العناصر عند درجة حرارة ($20^{\circ}C$) .

المادة	$\alpha\left({}^{\circ}C^{-1}\right)$
الفضة	0.0038
النحاس	0.00393
الالمنيوم	0.00391
تنجستون	0.005
كربون	− 0.0005
سبيكة نحاس − نيكل	0.000008

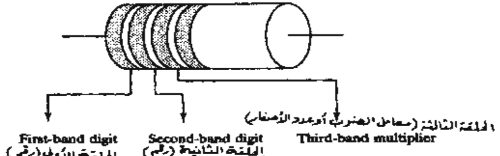
جدول (٢-٢)

تحديد قيم المقاومات باستخدام الألوان (Color Coding) :-

عندما يكون جسم المقاومة صغيراً من اجل كتابة القيمة العددية للمقاومة عليه فإننا نلجأ إلى طريقة تحديد قيمة المقاومة بواسطة استخدام نظام الألوان ، وهذا النظام يستخدم بشكل واسع من اجل المقاومات الكربونية والمقاومات السلكية قليلة القيمة . يرسم على جسم المقاومة ثلاث أو أربع حلقات ذات ألوان مختلفة بحيث تكون الحلقة الأولى قريبة من أحد أطرافها . اللون للحلقة الأولى والثانية يحدد الخانة العددية الأولى والثانية لقيمة المقاومة ، بينما اللون للحلقة الثالثة يحدد معامل الضرب للقيمة العددية للمقاومة .

والحلقة الرابعة سواءً كانت مرسومة أم لا فإنها تمثل السماحية لقيمة المقاومة (Tolerance) . حيـــث أن اللون الذهبي (Gold) يعني أن السماحية تساوي (% 5) واللـــون الفضي (Silver) يعني أن السماحية تساوي (% 10) ، وإذا لم تكن هنالك حلقة بأحد اللونين السابقين فان هذا يعني أن السماحية تساوي (% 20) .

الشكل (٢-٦) يبين طريقة استخدام الألوان لتحديد قيم المقاومات .



شكل (٢-٦)

والجدول (٢-٣) يبين القيم العددية لكل لون من الألوان .

اللون	الحلقة الأولى	الحلقة الثانية	الحلقة الثالثة
اسود	0	0	10^0
بني	1	1	10^1
احمر	2	2	10^2
برتقالي	3	3	10^3
اصفر	4	4	10^4
اخضر	5	5	10^5
ازرق	6	6	10^6
بنفسجي	7	7	10^7
رمادي	8	8	10^8
ابيض	9	9	10^9
ذهبي			0.1
فضي			0.01

جدول(٢-٣)

مثال (٢–٤)

ما هي القيمة العددية والسماحية لمقاومة اذا كان ترتيب الالوان لها بالشكل التالي :–

برتقالي ، ابيض ، اصفر ، فضي .

الحل :–

القيمة العددية حسب الالوان تعطى بالشكل التالي :–

١–برتقالي = 3

٢–ابيض = 9

٣–اصفر = 10^4

٤–فضي = 10 %

وبالتالي فان قيمة المقاومة تساوي :– $39 \times 10^4 = 390\ K\Omega \pm 10\ \%$

مثال (٢–٥)

مقاومة لها ثلاث حلقات للالوان فقط مرتبة بالشكل التالي :– بني ، اخضر ، ذهبي .

ما هي القيمة العددية ومقدار السماحية لهذه المقاومة .

الحل :–

القيمة العددية حسب ترتيب الالوان تعطى بالشكل التالي :–

١–بني = 1

٢–اخضر = 5

٣–ذهبي = 0.1

٤– بدون لون السماحية = 20 %

قيمة المقاومة تساوي :– $15 \times 0.1 = 1.5\ \Omega \pm 20\ \%$

قانون اوم (Ohm's Law)

مرور التيار الكهربائي في موصل عند تطبيق جهد على طرفيه يجابه بمقاومة هذا الموصل ، وكلما كانت هذه المقاومة مرتفعة فانه يلزم بذل عمل إضافي من اجل التغلب على هذه المقاومة ، وبالتالي فان الجهد المطبق على طرفي موصل يتناسب مع التيار المار من خلال هذا الموصل وثابت التناسب هو المقاومة أي أن :-

$$V \propto I \Rightarrow V = R.I$$

وهذه العلاقة يطلق عليها قانون اوم ، وهو من القوانين الأساسية في الدوائر الكهربائية .

ويمكن كتابة قانون اوم بعدة أشكال :-

$$V = I.R \Rightarrow R = \frac{V}{I} \Rightarrow I = \frac{V}{R} = V.G$$

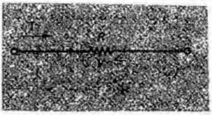
حيث أن :- V الجهد ويقاس بالفولت (Volt) .

I التيار ويقاس بالامبير (Ampere) .

R المقاومة وتقاس بالاوم (Ohm) .

G الموصلية وتقاس بالسيمنس (Siemens) .

الشكل (٢-٧) يبين اتجاه التيار في حال تطبيق جهد على طرفي مقاومة في الدوائر الكهربائية .



شكل (٢-٧)

حيث يكون اتجاه سريان التيار الكهربائي في المقاومة الكهربائية من النقطة ذات الجهد المرتفع إلى النقطة ذات الجهد المنخفض .

في الدائرة المبينة في الشكل (٢-٣) عندما تكون قيمة المقاومة $R = 0$ وهي تمثل حالة القصر فان :-

$$V = I.R = I \times 0 = 0\,V$$

ويمر في هذه الحالة تيار كبير من خلال المقاومة يدعى تيار القصر .

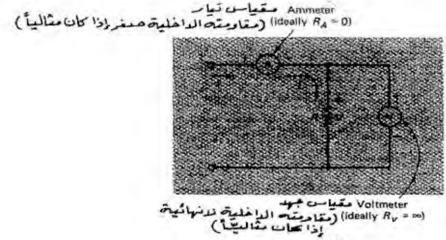
في الدائرة المبينة في الشكل (٢-٤) عندما تكون قيمة المقاومة $R = \infty$ وهي تمثل حالة الدائرة المفتوحة فان :-

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{\infty} = 0\,A$$

في هذه الحالة يكون التيار المار من خلال المقاومة يساوي الصفر ، ويوجد هنالك فرق جهد على أطراف المقاومة .

الطـــريقة المتبعة لتوصيل أجهزة قياس التيار المار من خلال المقاومة والجهد على أطرافها :-

يوصل جهاز الاميرميتر لقياس التيار على التوالي مع المقاومة بحيث يوصل الطـــرف الموجـــب لـــلجهاز مع الطرف الموجب لمصدر التغذية ، بينما يوصل جهاز الفولتميـــتر لقـــياس الجهـــد على التوازي على أطراف المقاومة بحيث يوصل الطرف الموجب للجهاز مع الطرف الموجب لمصدر التغذية كما هو مبين في الشكل (٢-٨) .



شكل (٢-٨)

مثال (٢-٦)

احسب قيمة المقاومة للمبة يمر من خلالها تيار $100\ mA$ عند تطبيق جهد $6\ V$ على أطرافها .

الحل :-

$$R=\frac{V}{I}=\frac{6}{100\times10^{-3}}=60\ \Omega$$

مثال (٢-٧)

احسب فرق الجهد على طرفي مقاومة قيمتها $560\ \Omega$ عندما يمر من خلالها تيار قدره $20\ mA$.

الحل :-

$$V=I.R=20\times10^{-3}\times560=11.2\ V$$

مثال (٢-٨)

إذا كان الجهد على طرفي مقاومة قيمتها $2\ K\ \Omega$ يساوي $8\ V$ احسب التيار المار من خلالها .

الحل :-

$$I=\frac{V}{R}=\frac{8}{2\times10^{3}}=4\ mA$$

القدرة المبددة في المقاومة (Power Dissipated in a Resistance) :-

الجهد المطبق على طرفي موصل يعطي شغلاً لحاملات الشحنة للتغلب على مقاومته ، وهذا الشغل يتحول إلى شكل آخر من أشكال القدرة (في العادة إلى القدرة الحرارية أو الضوئية) .

والمقاومة يمكن استخدامها من اجل إحدى الغايات التالية :-

١-لتحديد أو التحكم بمقدار سريان التيار .

٢-لتحقيق تحويل الطاقة الكهربائية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة .

٣- لوصل العناصر الكهربائية مع بعضها البعض (مثال أسلاك التوصيل حيث أن هذه الأسلاك هي مقاومات صغيرة القيمة) .

وتعطى القدرة المبددة في المقاومات الكهربائية بالعلاقة :-

$$P = V.I \qquad [Watt]$$

وباستخدام قانون اوم يمكن كتابة العلاقة السابقة بعدة أشكال كما يلي :-

$$P = V.I = \frac{V^2}{R} = I^2.R$$

ويمكن حساب القدرة المبددة في المقاومة باستخدام أي من الأشكال السابقة .
وتقوم المقاومة بتحويل القدرة الكهربائية إلى شكل آخر من أشكال القدرة وكلما زادت قيمة المقاومة زادت سرعة تبديد القدرة .وبالتالي فان المقاومة تصنف حسب قدرتها العظمى P_{max} . وعند تجاوز تبديد القدرة في المقاومة هذه القيمة فان المقاومة سوف تحترق ، وبمعرفة قيمة المقاومة وقيمة القدرة العظمى المبددة يمكن تحديد قيمة الجهد الأعظم الذي لا يجوز تجاوزه عند تطبيق جهد على أطراف هذه المقاومة دون أن يتسبب في تلف المقاومة ، وتحدد قيمة هذا الجهد حسب العلاقة :-

$$V_{max} = \sqrt{P_{max} \times R} \Rightarrow I_{max} = \sqrt{\frac{P_{max}}{R}}$$

وتعطى الطاقة الكهربائية المستهلكة في المقاومة بالعلاقة :-

$$W = P.t = V.I.t \qquad [J]$$

مثال (٢-٩)

احســـب القدرة المبددة في مقاومة قيمتها $60\ \Omega$ إذا مر من خلالها تيار $100\ mA$ عند تطبيق جهد $6\ V$ على أطرافها .

الحل :-

$$P = V.I = 6 \times 100 \times 10^{-3} = 0.6 \quad Watt$$
$$P = I^2 . R = \left(100 \times 10^{-3}\right)^2 \times 60 = 0.6 \quad Watt$$
$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(6)^2}{60} = 0.6 \quad Watt$$

مثال (٢-١٠)

احسب الجهد الأعظمي الذي يمكن تطبيقه على مقاومة قيمتها $5\ K\ \Omega$ وقدرتها $2\ W$ والتيار المار خلالها بدون أن يؤدي ذلك إلى أي ضرر في المقاومة .

الحل :-

$$P_{max} = \frac{V_{max}^2}{R} \Rightarrow V_{max} = \sqrt{P_{max} . R} = \sqrt{2 \times 5000} = 100\ V$$
$$I_{max} = \sqrt{\frac{P_{max}}{R}} = \sqrt{\frac{2}{5000}} = 0.02\ A = 20\ mA$$

مثال (٢-١١)

احسب الطاقة المستهلكة نتيجة تطبيق جهد $120\ V$ على مقاومة $20\ \Omega$ لمدة $2\ h$.

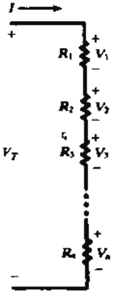
الحل :-

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(120)^2}{20} = 720\ W = 0.72\ KW$$
$$W = P.t = 2 \times 0.72 = 1.44\ KWh$$
$$W = 720 \times 2 \times 60 \times 60 = 5.184 \times 10^6 \quad J$$

المقاومات الموصولة على التوالي والتوازي في دوائر التيار المباشر:-

المقاومات الموصولة على التوالي (Series) :-

في حال وصل عدد من المقاومات على التوالي مع مصدر جهد مستمر كما هو مبين في الشكل (٢-٩) ، فانه في هذه الحالة يسري تيار واحد في جميع المقاومات الموصولة على التوالي ، ويكون مجموع الجهود على المقاومات مساوياً للجهد الكلي المطبق على الدائرة .



شكل (٢-٩)

للدائرة المبينة في الشكل (٢-٩) يمكن كتابة العلاقات التالية :-

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n$$
$$V_T = I.R_1 + I.R_2 + I.R_3 + \cdots + I.R_n$$
$$V_T = I \times \left(R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n\right)$$
$$V_T = I.R_{eq}$$

حيث أن R_{eq} هي المقاومة المكافئة لمقاومات الدائرة الموصولة مع بعضها على التوالي وتساوي :-

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

أي أن المقاومـــة المكافـــئة لعدد من المقاومات الموصولة مع بعضها على التوالي تساوي مجموع هذه المقاومات . وفي حال كون هذه المقاومات متساوية فإن المقاومة المكافئة لها تساوي حاصل ضرب قيمة المقاومة بعدد هذه المقاومات أي أن :-

$$R_{eq} = n.R$$

حيث أن n عدد هذه المقاومات .

قانون تقسيم الجهد (Voltage-division Law):-

إذا أخذنا حالة خاصة لوصل عدد من المقاومات مع بعضها على التوالي (على سبيل المثال مقاومتين) كما هو مبين في الشكل (٢-١٠) .



شكل (٢-١٠)

فإنه يمكن كتابة العلاقات التالية :-

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$
$$E = I.R_{eq} = I \times \left(R_1 + R_2\right) \Rightarrow$$
$$I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

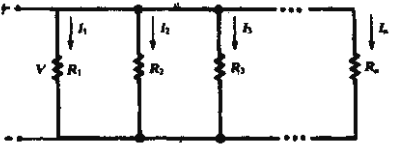
بالتعويض في قيم التيار في علاقة الجهود نحصل على :-

$$V_1 = I.R_1 = E \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$
$$V_2 = I.R_2 = E \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

وهذه العلاقات تمثل علاقات تقسيم الجهد في الدوائر الكهربائية التي تحتوي على عدد من المقاومات الموصولة مع بعضها على التوالي .

المقاومات الموصولة على التوازي (Parallel) :-

في حـــال وصل عدد من المقاومات على التوازي مع مصدر جهد مستمر كما هو مبين في الشكل (٢-١١) ، فانه في هذه الحالة يكون الجهد المطبق على كل مقاومة مساوياً لـــلجهد الكـــلي ، بيـــنما يتوزع التيار على فروع الدائرة بحيث يكون مجموع هذه التيارات مساوياً للتيار الكلي للدائرة .



شكل (٢-١١)

للشكل (٢-١١) يمكن كتابة العلاقات التالية :-

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

$$I_T = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \cdots + \frac{V}{R_n}$$

$$I_T = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}\right)$$

$$I_T = \frac{V}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

أي أن مقلـــوب المقاومة المكافئة لعدد من المقاومات الموصولة مع بعضها على التوازي يســـاوي مجموع مقلوب كل من المقاومات . وفي حال كون هذه المقاومات متساوية فإن المقاومة المكافئة لها تساوي قيمة إحدى المقاومات مقسومة على عددها أي أن :-

$$R_{eq} = \frac{R}{n}$$

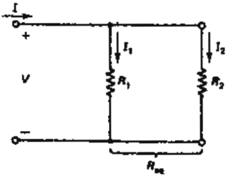
حيث أن n عدد المقاومات .

ويمكـــن كـــتابة علاقة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصـولة مع بعضها على التوازي بدلالة الموصلية :-

$$G_{eq} = \frac{1}{R_{eq}} = G_1 + G_2 + G_3 + \cdots + G_n$$

<u>قانون تقسيم التيار (Current-Division Law) :-</u>

للتعرف على قانون تقسيم التيار نأخذ حالة خاصة من وصل المقاومات مع بعضها على التوازي (حالة وصل مقاومتين على التوازي) كما في الشكل (٢-١٢) .



شكل (٢-١٢)

للشكل (٢-١٢) يمكن كتابة العلاقات التالية :-

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

والجهد الكلي للدائرة يعطى بالعلاقة :-

$$V = I \times R_{eq} = I \times \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

وتعطى التيارات في فروع الدائرة بالعلاقات :-

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = I \times \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \times \frac{1}{R_1} = I \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = I \times \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \times \frac{1}{R_2} = I \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

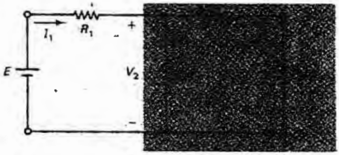
وهذه العلاقات تمثل العلاقات الخاصة بقانون تقسيم التيار .

في حـــال تفـــرع التـــيار بين فرعين من فروع الدائرة فإن التيار في أحد الفروع يمكن حســـاب قيمته بدلالة التيار الكلي حيث أن قيمة هذا التيار تساوي قيمة التيار الكلي مضروبة في مقاومة الفرع الآخر مقسومة على مجموع المقاومات للفرعين .

المقاومات الموصولة بشكل مركب (Series-Parallel Resistances) :-

في العادة تشكل الدوائر الكهربائية من عدد من المقاومات موصولة مع بعضها على التوالي وعدد آخر من المقاومات موصولة مع بعضها على التوازي .

وتـــسمى هـــذه الدوائر بدوائر التوالي والتوازي أو الدوائر ذات التوصيل المركب (Series-Parallel Circuits) كما هو مبين في الشكل (٢-١٣) .



شكل (٢-١٣)

في الشـــكل (٢-١٣) المقاومـــتان R_3, R_4 يمر فيهما نفس التيار I_3 وبالتالي فهما موصولتان على التوالي ، والمقاومة المكافئة لهما موصولة على التوازي مع المقاومة R_2 ، ومحصـــلة المقاومتين تكون موصولة على التوالي مع المقاومة R_1 لتشكل المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية R_{eq} .

القدرة الكلية المبددة في الدوائر الكهربائية :-

القدرة الكلية المبددة في الدوائر الكهربائية هي مجموع القدرات المبددة في كل مقاومة مـــن المقاومات المشكلة للدائرة الكهربائية سواءً كانت هذه المقاومات موصولة على التوالي أو التوازي .

ويـــتم حساب القدرة الكلية المبددة في الدوائر الكهربائية باستخدام إحدى العلاقات التالية :-

$$P_T = V.I = I^2.R_{eq} = \frac{V^2}{R_{eq}}$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$$

حيث أن :- V الجهد الكلي للدائرة الكهربائية (فولت) .

I التيار الكلي للدائرة الكهربائية (أمبير) .

R_{eq} المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية (اوم).

P_T القدرة الكلية المبددة في الدائرة الكهربائية (واط) .

$(P_1, P_2, \cdots, P_n)$ هي القدرات المبددة في المقاومات $(R_1, R_2, \cdots, R_n)$.

وتعطى القدرة المستهلكة في مصدر التغذية بالعلاقة :-

$$P_S = V.I$$

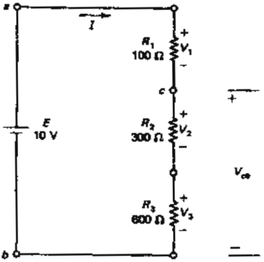
الجدول (٢-٤) يعطي ملخصاً لوصل المقاومات على التوالي والتوازي .

طريقة الربط / الكمية	وصل المقاومات على التوالي	وصل المقاومات على التوازي
التيار (I)	قيمة التيار ثابتة	التيار يتوزع على المقاومات بتناسب عكسي مع قيمها
الجهد (V)	يتوزع الجهد بقيم تتناسب طردياً مع قيم المقاومات	الجهد ثابت
المقاومة المكافئة (R_{eq})	اكبر من اكبر مقاومة	اصغر من اصغر مقاومة
القدرة الفعالة الكلية	تساوي مجموع القدرات لكل المقاومات	تساوي مجموع القدرات لكل المقاومات

جدول (٢-٤)

مثال (٢-١٢)

احســـب التـــيار الكلي I والجهد على أطراف كل مقاومة من المقاومات والجهد بين النقطتين c,b للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-١٤) .



شكل (٢-١٤)

الحل :- أ- حل المثال باستخدام قانون اوم :-

١-حساب المقاومة المكافئة للدائرة :-

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 = 100 + 300 + 600 = 1000\ \Omega$$

٢-حساب التيار الكلي :-

$$I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{10}{1000} = 0.01\ A = 10\ mA$$

٣- حساب فرق الجهد على كل مقاومة :-

$$V_1 = I.R_1 = 0.01 \times 100 = 1\ V$$
$$V_2 = I.R_2 = 0.01 \times 300 = 3\ V$$
$$V_3 = I.R_3 = 0.01 \times 600 = 6\ V$$
$$\therefore E = V_1 + V_2 + V_3 = 10\ V$$

٤- حساب فرق الجهد بين النقطتين c,b :-

$$V_{cb} = I \times (R_2 + R_3) = 0.01 \times (300 + 600) = 9\ V$$

ب–حل المثال باستخدام قوانين تقسيم الجهد :–

$$V_1 = E \times \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = 10 \times \frac{100}{1000} = 1\,V$$

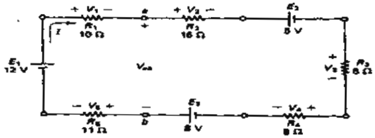
$$V_2 = E \times \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 10 \times \frac{300}{1000} = 3\,V$$

$$V_3 = E \times \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 10 \times \frac{600}{1000} = 6\,V$$

$$V_{cb} = E \times \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 10 \times \frac{900}{1000} = 9\,V$$

مثال (٢–١٣)

أوجـد التيار I والجهد V_{ab} والقدرة المستهلكة في المقاومة R_1 وفي كل من المصـدرين E_2, E_3 للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢–١٥) .



شكل (٢–١٥)

الحل :–١–

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 10 + 15 + 6 + 8 + 11 = 50\ \Omega$$

$$E_T = E_1 - E_2 + E_3 = 12 - 5 + 8 = 15 \quad V$$

$$I = \frac{E_T}{R_{eq}} = \frac{15}{50} = 0.3\ A$$

٢– $V_{ab} = E_1 - I.R_1 - I.R_5 = 12 - 0.3 \times 10 - 0.3 \times 11 = 5.7\ V$

٣– القدرة المستهلكة في المقاومة R_1 تساوي :–

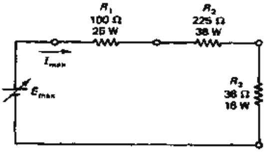
$$P_1 = I^2 \times R_1 = (0.3)^2 \times 10 = 0.9\ Watt$$

٤- القدرة المستهلكة في مصادر التغذية :-

$$Power\ in\ E_2 = E_2.I = 5 \times 0.3 = 1.5\ W$$

$$Power\ in\ E_3 = E_3.I = 8 \times 0.3 = 2.4\ W$$

مثال (٢-١٤) :-احسب الجهد الأعظم الذي يمكن تطبيقه على الدائرة المبينة في الشكل (٢-١٦) بحيث لا يتم تجاوز القدرة المحددة لكل مقاومة من المقاومات .



شكل (٢-١٦)

الحل :- يتم في البداية حساب قيمة التيار الأعظمي لكل مقاومة من المقاومات في الدائرة الكهربائية :-

$$I_{1max} = \sqrt{\frac{P_{1max}}{R_1}} = \sqrt{\frac{25}{100}} = 0.5\ A$$

$$I_{2max} = \sqrt{\frac{P_{2max}}{R_2}} = \sqrt{\frac{36}{225}} = 0.4\ A$$

$$I_{3max} = \sqrt{\frac{P_{3max}}{R_3}} = \sqrt{\frac{16}{36}} = 0.667\ A$$

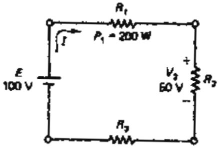
من قيم التيارات السابقة نستنتج أن القيمة الآمنة للتيار للمقاومات الثلاث هي اقل قيمة من القيم العظمى السابقة وتساوي $I_{max} = 0.4\ A$ ، وبالتالي فإن المقاومة R_2 هي المقاومة الأضعف في الدائرة الكهربائية ، وبالتالي فان الجهد الأعظمي الذي يمكن تطبيقه بأمان على الدائرة يساوي :-

$$E_{max} = I_{max} \times R_{eq} = 0.4 \times (100 + 225 + 36) = 144.4\ V$$

مثال (٢-١٥)

للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-١٧) إذا كانت القدرة المبددة في المقاومة R_1 تساوي $200\,W$ والجهد المطبق على المقاومة R_2 يساوي $50\,V$ والمقاومة المكافئة للدائرة تساوي $10\,\Omega$. المطلوب :-

١-حساب قيمة المقاومة R_3 . ٢- حساب الطاقة المستهلكة للمصدر خلال أسبوع .



شكل (٢-١٧)

الحل :-١-

$$I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{100}{10} = 10\ A$$

$$V_1 = \frac{P_1}{I} = \frac{200}{10} = 20\ V$$

$$V_3 = E - V_1 - V_2 = 100 - 20 - 50 = 30\ V$$

$$R_3 = \frac{V_3}{I} = \frac{30}{10} = 3\,\Omega$$

-٢

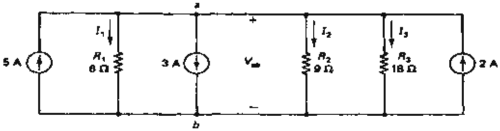
$$P_T = E.I = 100 \times 10 = 1000\ W = 1\ KW$$

$$W_T = P_T.t = 1000\ W \times 7 \times 24 \times 3600\ s = 604.8\ MJ$$

$$W_T = 1\ KW \times 7 \times 24\ h = 168\ KWh$$

مثال (٢-١٦)

للدائـــرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-١٨) احســب فرق الجهد بين النقطتين a,b وقيم كل من التيارات I_1, I_2, I_3 .



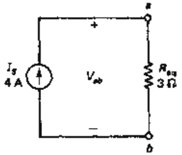
شكل (٢-١٨)

الحل :-

$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{6}+\frac{1}{9}+\frac{1}{18}=\frac{3+2+1}{18}=\frac{6}{18}\Rightarrow R_{eq}=\frac{18}{6}=3\,\Omega$$

$$I_s=5-3+2=4\,A$$

حيـــث أن I_s هو محصلة التيارات في النقطة (a) ، وتصبح الدائرة الكهربائية المكافئة للدائرة السابقة كما هو مبين في الشكل (٢-١٩) .

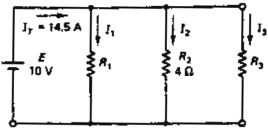


شكل (٢-١٩)

$$V_{ab}=I_s\times R_{eq}=4\times 3=12\,V$$

مثال (٢-١٧)

للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٢٠) ، المطلوب حساب قيمة المقاومة R_1 والقدرة المبددة خلالها ، إذا كانت القدرة المبددة خلال المقاومة R_3 تساوي $20\,W$.



شكل (٢-٢٠)

الحل :-

$$P_3 = 20\,W = E \times I_3 \Rightarrow I_3 = \frac{P_3}{E} = \frac{20}{10} = 2\,A$$

$$R_3 = \frac{E}{I_3} = \frac{10}{2} = 5\,\Omega$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{10}{4} = 2.5\,A$$

$$I_1 = I_T - I_2 - I_3 = 14.5 - 2.5 - 2 = 10\,A$$

$$R_1 = \frac{E}{I_1} = \frac{10}{10} = 1\,\Omega$$

$$P_1 = E \times I_1 = 10 \times 10 = 100\,W$$

مثال (٢-١٨)

احسب قيمة المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٢١) .



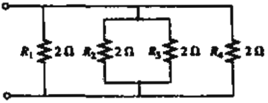
شكل (٢-٢١)

الحل :-

$$R_{eq} = \frac{12}{3} = 4\ \Omega$$

مثال (٢-١٩)

احسب المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٢٢) .



شكل (٢-٢٢)

الحل :-

$$R_{eq} = \frac{2}{4} = 0.5\ \Omega$$

مثال (٢-٢٠)

احسب المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٢٣) .



شكل (٢-٢٣)

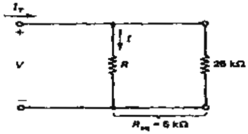
الحل :-

$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}=\frac{10+5+4}{20}=\frac{19}{20}\Rightarrow$$

$$R_{eq}=\frac{20}{19}=1.053\ \Omega$$

مثال (٢-٢١)

احسب قيمة المقاومة R لتصبح قيمة المقاومة المكافئة للدائرة المبينة في الشكل (٢-٢٤) مساوية $5\ K\Omega$. واحسب التيار المار من خلال هذه المقاومة وفرق الجهد على طرفيها إذا كان التيار الكلي للدائرة يساوي $10\ mA$.



شكل (٢-٢٤)

الحل :-

$$R_{eq}=\frac{R\times 25\ K\Omega}{R+25\ K\Omega}\Rightarrow R+25\ K\Omega=5\ R$$

$$R=\frac{25\ K\Omega}{4}=6.25\ K\Omega$$

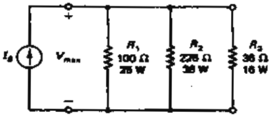
باستخدام قوانين تقسيم التيار نحصل على :-

$$I=I_T\times\frac{25\ K\Omega}{25\ K\Omega+6.25\ K\Omega}=10\times10^{-3}\times\frac{25}{31.25}=8\ mA$$

$$V=I.R=I_T\times R_{eq}=8\times10^{-3}\times6.25\times10^{3}=10\times10^{-3}\times5\times10^{3}=50\ V$$

مثال (٢-٢٢)

احسب القيمة العظمى الآمنة لتيار المصدر التي يمكن تطبيقها على الدائرة المبينة في الشكل (٢-٢٥) دون حصول أية أضرار للمقاومات في الدائرة الكهربائية .



شكل (٢-٢٥)

الحل :-

$$V_{1max} = \sqrt{P_1 . R_1} = \sqrt{25 \times 100} = 50\ V$$
$$V_{2max} = \sqrt{P_2 . R_2} = \sqrt{36 \times 225} = 90\ V$$
$$V_{3max} = \sqrt{P_3 . R_3} = \sqrt{16 \times 36} = 24\ V$$

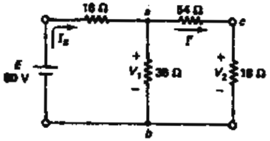
وبالـــتالي من النتائج السابقة يجب اختيار قيمة الجهد $V_{3max} = 24\ V$ لأنه اقل جهد . وتكون المقاومة R_3 هي المقاومة الأضعف في الدائرة الكهربائية .

وتحـــب القيمة الآمنة لتيار المصدر من العلاقة :-

$$I_s = \frac{V_{max}}{R_{eq}} = V_{max} \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$
$$= 24 \times \left(\frac{1}{100} + \frac{1}{225} + \frac{1}{36} \right) = 1.01\ A$$

مثال (٢-٢٣)

احسب قيمة كلٍ من I_S, V_1, V_2 للدائرة المبينة في الشكل (٢-٢٦) .



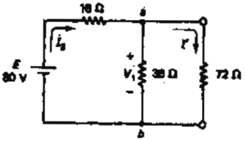
شكل (٢-٢٦)

الحل :-

المقاومتان $54\ \Omega, 18\ \Omega$ موصولتان على التوالي ، المقاومة المكافئة لهما تساوي :-

$$R_{eq1} = 54 + 18 = 72\ \Omega$$

وتصبح الدائرة الكهربائية المكافئة كما هو مبين في الشكل (٢-٢٧) .

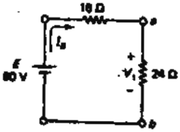


شكل (٢-٢٧)

المقاومتان $36\ \Omega, 72\ \Omega$ موصولتان على التوازي ، والمقاومة المكافئة لهما تساوي :-

$$R_{eq2} = \frac{36 \times 72}{36 + 72} = 24\ \Omega$$

وتصبح الدائرة الكهربائية المكافئة كما هو مبين في الشكل (٢-٢٨) .



شكل (٢-٢٨)

وتصبح المقاومة المكافئة الكلية للدائرة تساوي :-

$$R_{eq} = 16 + 24 = 40\ \Omega$$

والتيار I_s يساوي :-

$$I_s = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{80}{40} = 2\ A$$

قيم الجهود V_1, V_2 تحسب كما يلي :-

$$V_1 = I_S \times 24 = 2 \times 24 = 48\ V$$

$$I' = I_S \times \frac{36}{36+72} = 2 \times \frac{36}{108} = 0.667\ A$$

$$V_2 = I' \times 18 = 0.667 \times 18 = 12\ V$$

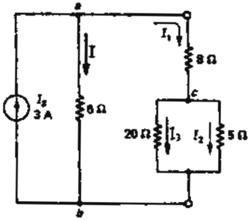
مثال (٢-٢٤)

للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٢٩) المطلوب حساب :-

١-قيم التيارات في كل فرع من فروع الدائرة .

٢-القدرة المستهلكة في كل مقاومة من مقاومات الدائرة .

٣-القدرة الكلية المستهلكة في الدائرة .



شكل (٢-٢٩)

الحل :-

١- حساب المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية :-

$$R_{eq1} = (20 // 5) = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = 4\ \Omega$$

$$R_{eq2} = 4 + 8 = 12\ \Omega$$

$$R_{eq} = (12 // 6) = \frac{12 \times 6}{12 + 6} = 4\ \Omega$$

حساب التيارات في فروع الدائرة :-

$$I = I_S \times \frac{12}{12+6} = 3 \times \frac{12}{18} = 2\ A$$

$$I_1 = I_S \times \frac{6}{12+6} = 3 \times \frac{6}{18} = 1\ A$$

$$I_2 = I_1 \times \frac{20}{20+5} = 1 \times \frac{20}{25} = 0.8\ A$$

$$I_3 = I_1 \times \frac{5}{20+5} = 1 \times \frac{5}{25} = 0.2\ A$$

٢-حساب القدرة المستهلكة في كل مقاومة من مقاومات الدائرة :-

$$P_1 = I^2 \times 6 = (2)^2 \times 6 = 24\ W$$

$$P_2 = I_1^2 \times 8 = (1)^2 \times 8 = 8\ W$$

$$P_3 = I_2^2 \times 5 = (0.8)^2 \times 5 = 3.2\ W$$

$$P_4 = I_3^2 \times 20 = (0.2)^2 \times 20 = 0.8\ W$$

٣-حساب القدرة الكلية المستهلكة في الدائرة الكهربائية :-

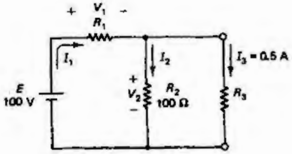
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = I_S^2 \times R_{eq} = \frac{V^2}{R_{eq}}$$

$$P_T = 24 + 8 + 3.2 + 0.8 = (3)^2 \times 4 = \frac{(3 \times 4)^2}{4}$$

$$P_T = 36 \quad W$$

مثال (٢-٢٥)

إذا كانت القدرة الكلية المزودة من مصدر التغذية تساوي $75\,W$ للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٣٠) المطلوب حساب قيمة المقاومة R_1 .



شكل (٢-٣٠)

الحل :-

حساب التيارات المجهولة في الدائرة :-

$$P_T = E \times I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{P_T}{E} = \frac{75}{100} = 0.75\ A$$

$$I_2 = I_1 - I_3 = 0.75 - 0.5 = 0.25\ A$$

حساب فرق الجهد على أطراف المقاومتين R_2, R_3 :-

$$V_2 = I_2 \times R_2 = 0.25 \times 100 = 25\ V$$

$$E = V_1 + V_2 \Rightarrow V_1 = E - V_2 = 100 - 25 = 75\ V$$

حساب قيمة المقاومة R_1 :-

$$R_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{75}{0.75} = 100\ \Omega$$

قوانين ونظريات دوائر التيار المباشر:-

تستخدم بعض القوانين والنظريات الخاصة في دوائر التيار المباشر(المستمر) من اجل سهولة الحل لهذه الدوائر . ومن هذه النظريات على سبيل المثال لا الحصر :-

١-قوانين كيرشوف للتيار والجهد (Kirchhoff's Laws) .

٢-قوانين التحويل من توصيل مثلثي إلى نجمي وبالعكس (Transformation ($\Delta \Leftrightarrow Y$)).

٣-نظرية التراكب (Superposition Theorem).

٤-نظرية التطابق .

قوانين كيرشوف :-

من اجل تحليل الدوائر الكهربائية وإيجاد قيم التيارات والجهود لها ، فإنه في بعض الأحيان يكون استخدام قانون اوم وحدهُ غير فعال وخصوصاً في الدوائر الكهربائية التي تحتوي على اكثر من مصدر من مصادر التغذية ، وفي مثل هذه الدوائر يعتبر استخدام قانون كيرشوف حلاً ملائماً.

تقسم قوانين كيرشوف الى قانونين رئيسين هما :-

١-قانون كيرشوف للتيار (KCL) (Kirchhoff's Current Law) .

٢-قانون كيرشوف للجهد (KVL) (Kirchhoff's Voltage Law) .

قانون كيرشوف للتيار :-

يمكن التعبير عن قانون كيرشوف للتيار بإحدى الطريقتين التاليتين :-

١- المجموع الجبري للتيارات الكهربائية المجمعة في أي عقدة في الدائرة يساوي الصفر .

٢- مجمـــوع التـــيارات الداخلة إلى العقدة في الدائرة الكهربائية يساوي مجمـــوع التيارات الخارجة منها . والمقصود بالعقدة في الدائرة الكهربائية هي النقطة من الدائرة التي يجتمع فيها على الأقل ثلاثة تيارات .

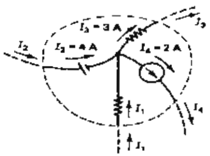
وكاتجاه اصطلاحي للتيارات تعطى إشارة (+) للتيارات الداخلة إلى العقدة ، وتعطى إشارة (-) للتيارات الخارجة منها .

ويمكن التعبير عن قانون كيرشوف الأول رياضياً بالشكل التالي:-

$$\sum_{i=1}^{n} I_i = 0$$

مثال (٢-٢٦)

اكتب قانون كيرشوف للتيارات للعقدة المبينة في الشكل (٢-٣١) .



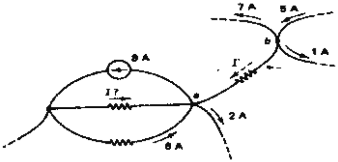
شكل (٢-٣١)

الحل :-

$$I_1 + I_2 + (-I_3) + (-I_4) = 0$$
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

مثال (٢-٢٧)

احسب قيمة التيار I للدائرة المبينة في الشكل (٢-٣٢) .



شكل (٢-٣٢)

الحل :-

كتابة قانون كيرشوف للتيار للعقدة b :-

$$5 = 7 + 1 + I' \Rightarrow I' = 5 - 8 = -3\ A$$

ومجموع التيارات للعقدة a يساوي :-

$$I + 6 + I' = 8 + 2 \Rightarrow I = 10 - 6 - I' = 7\ A$$

قانون كيرشوف للجهد :-

يمكن التعبير عن قانون كيرشوف للجهد باحدى الطريقتين التاليتين :-

١- المجموع الجبري للجهود للحلقة المغلقة في الدائرة الكهربائية يساوي الصفر .

٢- مجمـوع الارتفاع في الجهد للحلقة المغلقة يساوي مجموع الانخفاض في الجهد لتلك الحلقة المغلقة .

عـندما يمـر التيار الكهربائي في أي عنصر من النقطة ذات الجهد المنخفض (الطرف السـالب) إلى النقطة ذات الجهد المرتفع (الطرف الموجب) فانه في هذه الحالة يكون هـنالك ارتفاع في الجهد . وعندما يمر التيار الكهربائي في أي عنصر من النقطة ذات الجهد المرتفع (الطرف الموجب) إلى النقطة ذات الجهد المنخفض (الطرف السالب) ، في هـذه الحالـة يكـون هنالك انخفاض في الجهد . وكاتجاه اصطلاحي للجهد يعطى الارتفاع في الجهد إشارة (+) والانخفاض في الجهد إشارة (−) .

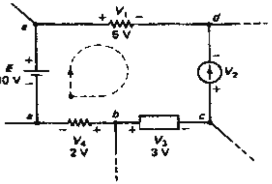
ويمكن التعبير عن قانون كيرشوف الثاني رياضياً بالشكل التالي :-

$$\sum_{i=1}^{n} V_i (around\ any\ closed\ loop) = 0$$

عـــند تطبـــيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة في الدائرة الكهربائية ، نختار نقطة للـــبداية ومن ثم ننتقل إلى باقي نقط الحلقة في اتجاه معين مع عقارب الساعة أو بعكس عقارب الساعة .

مثال (٢-٢٨)

طبق قانون كيرشوف للجهد للحلقة المغلقة المبينة في الشكل (٢-٣٣) .

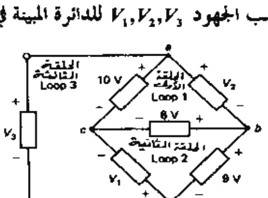


شكل (٢-٣٣)

الحل :-

$$E - V_1 + V_2 + V_3 - V_4 = 0$$
$$E + V_2 + V_3 = V_1 + V_4$$

مثال (٢-٢٩) :- احسب الجهود V_1, V_2, V_3 للدائرة المبينة في الشكل (٢-٣٤) .



شكل (٢-٣٤)

الحل :-

للحلقة الأولى :-

$$10 - V_2 - 8 = 0 \Rightarrow V_2 = 10 - 8 = 2\,V$$

للحلقة الثانية :-

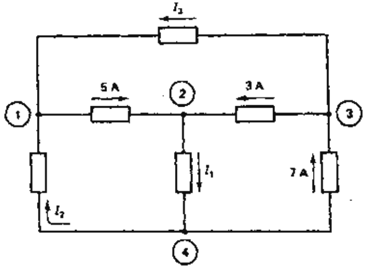
$$-V_1 + 8 - 9 = 0 \Rightarrow V_1 = 8 - 9 = -1\,V$$

للحلقة الثالثة :-

$$V_3 - 10 + V_1 = 0 \Rightarrow V_3 = 10 - V_1 = 10 - (-1) = 11\,V$$

مثال (٢-٣٠)

باستخدام قوانين كيرشوف احسب قيم التيارات I_1, I_2, I_3 للدائرة المبينة في الشكل (٢-٣٥) .



شكل (٢-٣٥)

الحل :-

في العقــدة (1) هــنالك تياران مجهولان . وفي العقدتين (2) و (3) هنالك تيار واحد مجهول القيمة ، وبالتالي نبدأ بالعقدة (2) :-

$$I_1 = 5 + 3 = 8\,A$$

للعقدة (3) :-

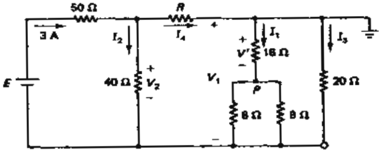
$$7 = 3 + I_3 \Rightarrow I_3 = 7 - 3 = 4\ A$$

للعقدة (1) :-

$$I_2 + I_3 = 5 \Rightarrow I_2 = 5 - I_3 = 5 - 4 = 1\ A$$

مثال (٢-٣١)

إذا كان جهد النقطة (P) في الدائرة المبينة في الشكل (٢-٣٦) يساوي $V_P = -16\,V$ احسب قيمة كلٍ من R, E .



شكل (٢-٣٦)

الحل :- بما أن جهد النقطة (P) يساوي $(-16\,V)$ فإن الجهد $V' = 16\,V$.

وقيمة التيار :- $\quad I_1 = \dfrac{V'}{16} = \dfrac{16}{16} = 1\ A$

والمقاومة المكافئة للفرع الذي يحوي النقطة (P) تساوي :-

$$R_{eq1} = 16 + \frac{8 \times 8}{8 + 8} = 16 + 4 = 20\ \Omega$$

$$\therefore V_1 = 1 \times R_{eq1} = 1 \times 20 = 20\ V$$

$$I_3 = \frac{V_1}{20} = \frac{20}{20} = 1\ A$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيار نحصل على :-

$$I_4 = I_1 + I_3 = 1 + 1 = 2\ A$$

$$I_2 + I_4 = 3 \Rightarrow I_2 = 3 - I_4 = 3 - 2 = 1\ A$$

$$V_2 = I_2 \times 40 = 1 \times 40 = 40\ V$$

فرق الجهد على أطراف المقاومة R يساوي :-

$$V_R = V_2 - V_1 = 40 - 20 = 20\,V$$

$$\therefore R = \frac{V_R}{I_4} = \frac{20}{2} = 10\,\Omega$$

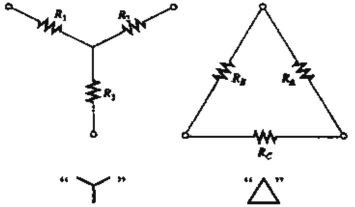
بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة التي تحوي المصدر (E) نحصل على :-

$$E = 3\times 50 + V_2 = 150 + 40 = 190V$$

قوانين التحويل من مثلث إلى نجمة وبالعكس في الدوائر الكهربائية :-

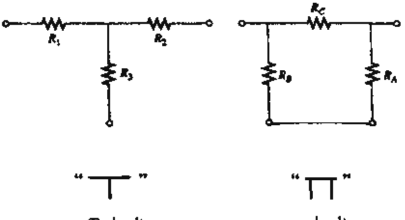
يصادفنا في الحياة العملية كثير من الدوائر الكهربائية التي ليس من السهل تطبيق قوانين التوالي والتوازي وحتى قوانين كيرشوف عليها ، لذلك لابد من تبسيط هذه الدوائر لتسهيل الحل .

الشكل (٢-٣٧) يبين ثلاث مقاومات R_A, R_B, R_C موصولة بشكل مثلث Delta وثلاث مقاومات R_1, R_2, R_3 موصولة بشكل نجمة Star .



شكل (٢-٣٧)

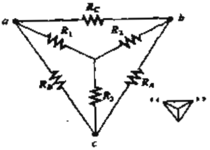
يمكن تبسيط الأشكال السابقة بصيغتين مختلفتين كما في الشكل (٢-٣٨) :-



شكل (٢-٣٨)

١–التحويل من مثلث إلى نجمة : *Δ / Y Transformation* :

يمكن تلخيص القاعدة في التحويل من مثلث إلى نجمة كما هو مبين في الشكل (٢–٣٩) كما يلي :–



شكل (٢–٣٩)

كـــل مقاومـــة في الشـــكل Y تساوي حاصل ضرب المقاومتين في الفرعين المجاورين لها في الشكل *Δ* مقسومة على مجموع المقاومات الثلاث في الشكل Δ .

من الشكل (٢–٣٩) يمكن كتابة علاقات التحويل التالية :–

$$R_1 = \frac{R_B \times R_C}{R_A + R_B + R_C}$$

$$R_2 = \frac{R_A \times R_C}{R_A + R_B + R_C}$$

$$R_3 = \frac{R_A \times R_B}{R_A + R_B + R_C}$$

٢–التحويل من نجمة إلى مثلث *Y / Δ Transformation*:–

يمكن تلخيص القاعدة في التحويل من نجمة إلى مثلث كما يلي:–

كل مقاومة في الشكل Δ تساوي مجموع حوا صل الضرب للمقاومات الموصولة Y بحيث تؤخذ مقاومتان في كل مرة ومقسومة على المقاومة المقابلة للمقاومة المراد حسابها. وتعطى قيم المقاومات بالعلاقات التالية :–

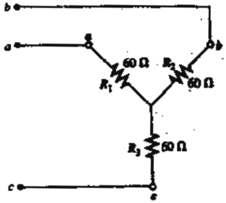
$$R_A = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1}$$

$$R_B = \frac{R_1.R_2 + R_2.R_3 + R_1.R_3}{R_2}$$

$$R_C = \frac{R_1.R_2 + R_2.R_3 + R_1.R_3}{R_3}$$

مثال (٢-٣٢)

للدائرة المبينة في الشكل(٢-٤٠) حول توصيلة النجمة إلى توصيل مثلثي :-



شكل (٢-٤٠)

الحل :-

$$R_A = \frac{R_1.R_2 + R_2.R_3 + R_1.R_3}{R_1}$$

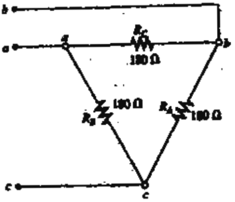
$$R_A = \frac{60 \times 60 + 60 \times 60 + 60 \times 60}{60} = 180\ \Omega$$

$$R_A = R_B = R_C = 180\ \Omega$$

بما أن مقاومات توصيلة النجمة متساوية فإنه يمكن حساب قيم مقاومات الوصلة المثلثية بشكل مباشر من العلاقة :-

$$R_\Delta = 3 \times R_Y = 3 \times 60 = 180\ \Omega$$

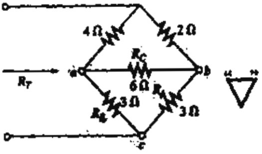
والدائرة المكافئة للتحويل مبينة في الشكل (٢-٤١) .



شكل (٢-٤١)

مثال (٢-٣٣)

احسب المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٤٢) .



شكل (٢-٤٢)

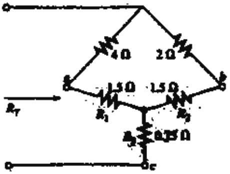
الحل :-

نحـول توصـيلة المثلث للمقاومات (R_A, R_B, R_C) إلى توصيلة النجمة (ع) إذ أنه يوجد مقاومتان متساويتان في توصيلة المثلث فإننا سوف نحصل على مقاومتين متساويتين في توصيلة النجمة) :-

$$R_1 = R_2 = \frac{3 \times 6}{3 + 3 + 6} = 1.5\,\Omega$$

$$R_3 = \frac{3 \times 3}{12} = 0.75\,\Omega$$

تصبح الدائرة الكهربائية كما هو مبين في الشكل (٢-٤٣) .



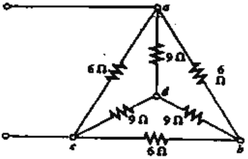
شكل (٢-٤٣)

ونحسب المقاومة المكافئة للدائرة من العلاقة :-

$$R_{eq} = 0.75 + \frac{(4+1.5)(2+1.5)}{(4+1.5)+(2+1.5)} = 2.889\ \Omega$$

مثال (٢-٣٤)

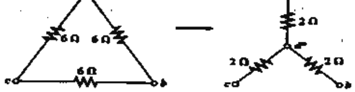
احسب المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٤٤) .



شكل (٢-٤٤)

الحل :-

نحـول المقاومـات الموصلة بشكل مثلثي إلى الشكل النجمي كما هو مبين في الشكل (٢-٤٥) .

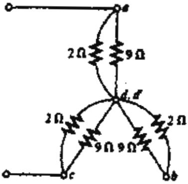


شكل (٢-٤٥)

وتعطى قيم المقاومات بالعلاقة :-

$$R_Y = \frac{R_\Delta}{3} = \frac{6}{3} = 2\,\Omega$$

وتصبح الدائرة الكهربائية المكافئة كما هو مبين في الشكل (٢-٤٦) .

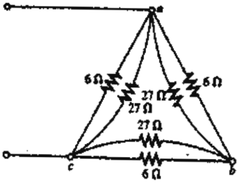


شكل (٢-٤٦)

وتحسب المقاومة المكافئة للدائرة من العلاقة :-

$$R_{eq} = 2 \times \left(\frac{2 \times 9}{2 + 9} \right) = 3.2727\,\Omega$$

ويمكن حل المثال السابق بالتحويل من الشكل النجمي إلى الشكل المثلثي كما هو مبين في الشكل (٢-٤٧) .



شكل (٢-٤٧)

الحل :-

$$R_\Delta = 3\,R_Y = 3 \times 9 = 27\,\Omega$$

وتحسب المقاومة المكافئة للدائرة من العلاقات التالية :-

$$R_{eq1} = \frac{6 \times 27}{6 + 27} = 4.9091\,\Omega$$

$$R_{eq} = \frac{R_{eq1}\left(R_{eq1} + R_{eq1}\right)}{R_{eq1} + \left(R_{eq1} + R_{eq1}\right)} = \frac{2 \times R_{eq1}}{3} = \frac{2 \times 4.9091}{3} = 3.2727\,\Omega$$

مصادر الجهد المثالية ومصادر الجهد العملية

(Ideal and Practical Voltage Sources) :-

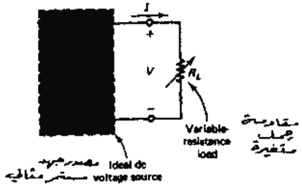
مصادر الجهد المثالية :-

يمكن الاستنتاج مما تم شرحه في الفقرات السابقة أنه إذا كان هنالك مصدر جهد مستمر جهده يساوي $12\,V$ وتم وصل هذا المصدر مع مقاومة قيمتها $6\,\Omega$ فان قيمة التيار المار من خلال المقاومة يساوي $2\,A$ ، وتصبح قيمة هذا التيار $0.5\,A$ إذا أصبحت قيمة المقاومة تساوي $24\,\Omega$ ، وكذلك تصبح قيمة التيار $0.1\,A$ إذا وصلت مقاومة قيمتها $120\,\Omega$ مع نفس المصدر ، وفي كل الحالات السابقة فإن :-

$$V = E = I.R$$

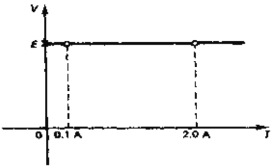
هذا النوع من مصادر الجهد يدعى مصدر الجهد المثالي ، ويعرف مصدر الجهد المثالي بأنه مصدر الجهد الذي يعطي جهداً ثابتاً بين أطرافه $(V = E)$ بغض النظر عن قيمة التيار المار من خلال الحمل الموصول مع هذا المصدر (أي أن الجهد على أطراف المصدر لا يتأثر بقيمة الحمل الموصول معه) .

الشكل (٢-٤٨) يبين نموذجاً لمصدر جهد مستمر مثالي (المقاومة الداخلية لهذا المصدر تساوي الصفر) .



شكل (٢-٤٨)

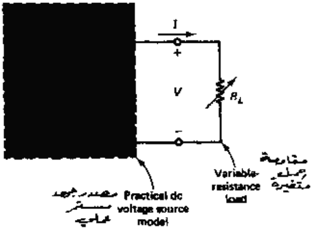
وتكـــون علاقة الجهد مع التيار لهذا النوع من المصادر هي علاقة خط مستقيم كما هو مبين في الشكل (٢-٤٩) .



شكل (٢-٤٩)

مصادر الجهد العملية :-

في الحياة العملية فإن معظم مصادر الجهد هي مصادر جهد عملية (غير مثالية) ، حيث أن فـــرق الجهـــد عــــلى أطراف الحمل الموصول مع هذه المصادر يقل عن قيمة القوة الدافعـــة الكهربائـــية الناتجة عن مصدر الجهد كلما زادت قيمة التيار الخارج من هذا المصدر ، مما يعطي انطباعاً بأن هنالك هبوط جهد على عناصر داخل مصدر التغذية ، وتزداد قيمة هبوط الجهد على العناصر الداخلية بزيادة التيار ، وهذه العناصر الداخلية هي عبارة عن مقاومة تدعى بالمقاومة الداخلية لمصدر الجهد (Internal Resistance) ويرمز لها بالرمز (R_{int}) . والشكل (٢-٥٠) يبين نموذجاً لمصدر جهد عملي .



شكل (٢-٥٠)

من الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٥٠) يمكن كتابة قانون كيرشوف للجهد في الحلقة المغلقة بالشكل التالي :-

$$E = V_{int} + V = I.R_{int} + V \Rightarrow$$
$$V = E - I.R_{int}$$

حيث أن :- E القوة الدافعة الكهربائية .

V فرق الجهد على أطراف الحمل .

V_{int} هبوط الجهد الداخلي لمصدر الجهد (**Internal Voltage Drop**) .

R_{int} المقاومة الداخلية لمصدر الجهد .

وحسب قانون اوم فإن :-

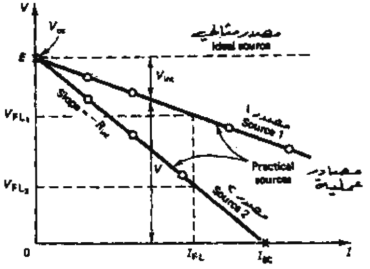
$$V = I.R_L$$

حيث أن :- R_L هي مقاومة الحمل .

من العلاقات السابقة يمكن استنتاج أن :-

$$I = \frac{E}{R_L + R_{int}}$$

والشكل (٢-٥١) يبين علاقة الجهد مع التيار لمصادر جهد عملية .



شكل (٢-٥١)

مثال (٢-٣٥)

مصدر جهد عملي يعطي تياراً قدره $0.5\ A$ إلى حمل مؤلف من ثلاث مقاومات موصولة على التوالي قيمها $30\ \Omega, 100\ \Omega, 150\ \Omega$. وعند وصل هذه المقاومات على التوازي فإن المصدر يعطي تياراً قدره $3.75\ A$.المطلوب :-

١-حساب المقاومة الداخلية والقوة الدافعة الكهربائية لمصدر الجهد .

٢-حساب التيار المار من خلال الحمل و فرق الجهد على طرفيه إذا تم وصل المقاومتين $100\ \Omega, 150\ \Omega$ مع بعضهما على التوازي ووصلت المقاومة $30\ \Omega$ على التوالي معهما .

الحل :-

١-في الحالة الأولى عند وصل المقاومات الثلاث على التوالي :-

$$R_{eq1} = R_{L1} = 30 + 100 + 150 = 280\ \Omega$$

$$V = I.R_{L1} = 0.5 \times 280 = 140\ V$$

$$V = E - I.R_{int} \Rightarrow 140 = E - 0.5\ R_{int} \cdots\cdots\cdots (1)$$

٢- في الحالة الثانية عند وصل المقاومات الثلاث على التوازي مع بعضها :-

$$\frac{1}{R_{eq2}} = \frac{1}{R_{L2}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{100} + \frac{1}{150} \Rightarrow R_{L2} = 20\ \Omega$$

$$V = I.R_{L2} = 3.75 \times 20 = 75\ V$$

$$V = E - I.R_{int} = E - 3.75\ R_{int} \Rightarrow 75 = E - 3.75 \times R_{int} \cdots\cdots\cdots (2)$$

بطرح المعادلة (2) من المعادلة (1) نحصل على :-

$$140 - 75 = (E - 0.5\ R_{int}) - (E - 3.75\ R_{int})$$

$$65 = 3.25\ R_{int} \Rightarrow R_{int} = \frac{65}{3.25} = 20\ \Omega$$

بالتعويض في المعادلة (1) نحصل على :-

$$E = V + I.R_{int} = 140 + 0.5 \times 20 = 140 + 10 = 150\ V$$

٣- في هذه الحالة مقاومة الحمل تساوي :-

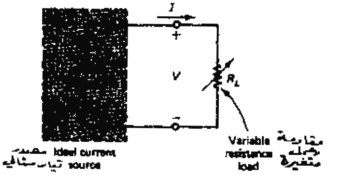
$$R_{eq3} = R_{L3} = 30 + \frac{100 \times 150}{100 + 150} = 90\ \Omega$$

$$I = \frac{E}{R_{int} + R_{L3}} = \frac{150}{20 + 90} = 1.36\ A$$

$$V = I.R_{L3} = 1.36 \times 90 = 122.73\ V$$

مصادر التيار المثالية والعملية (Ideal and Practical Current Sources) :-

مصـــدر التيار المثالي :- يعرف مصدر التيار المثالي بأنه جهاز يعطي تياراً ثابتاً لأي حمل مادي موصول بين أطرافه . والشكل (٢-٥٢) يبين نموذجاً لمصدر تيار مثالي حيث أن: $I = I_S$ من اجل أي قيمة للمقاومة R_L أو V .



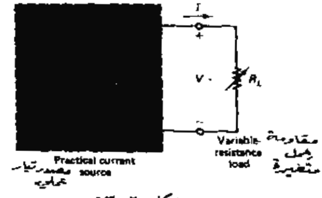
شكل (٢-٥٢)

وفي هذه الحالة يكون :-

$$V = I.R_L = I_S.R_L$$

وبمـا أن التـيار I_S ذو قيمة ثابتة فإن قيمة الجهد V تتناسب تناسباً طردياً مع قيمة المقاومة R_L فكلما كانت هذه المقاومة صغيرة يكون الجهد قليلاً ، والعكس صحيح .

مصـــدر التيار العملي :- في الحياة العملية نلاحظ أن التيار الخارج من مصدر التيار يقل كلما زاد هبوط الجهد على أطراف الحمل (بزيادة مقاومة الحمل) . ويمكن تمثيل مصدر التيار العملي كما هو مبين في الشكل (٢-٥٣) .



شكل (٢-٥٣)

حيــث أن الـــنقص في التــيار يكون بسبب المقاومة الداخلية لمصدر التيار (R_{int}) الموصولة على التوازي مع مصدر التيار .

ولحســاب قــيمة التيار المزود إلى الحمل من مصدر التيار نطبق قانون كيرشوف للتيار على الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٥٣) ، ولحصل على :-

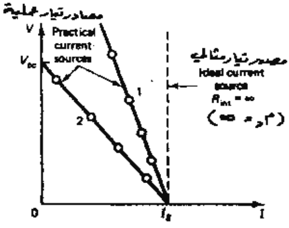
$$I = I_S - \frac{V}{R_{int}} \Rightarrow V = I_S.R_{int} - I.R_{int}$$

حيث أن I_S, R_{int} تمثل محددات مصدر التيار . ومن العلاقة السابقة نلاحظ أنه :-

- كلما زاد الجهد V فإن قيمة التيار I تقل .
- إذا كانـــت قيمة المقاومة $R_{int} = \infty$ فإن $I = I_S$ وهي تمثل حالة مصدر التيار المثالي .

أي يمكـــن القول إن مصدر التيار المثالي هو مصدر تيار عملي ولكن مقاومته الداخلية (الموصـــولة معه على التوازي) تساوي اللانهاية ، بينما مصدر الجهد المثالي هو مصدر جهد عملي ولكن مقاومته الداخلية (الموصولة معه على التوالي) تساوي الصفر .

الشـــكل (٢-٥٤) يـــبين علاقـــة الجهد مع التيار لمصدر التيار المثالي ومصدر التيار العملي.



شكل (٢-٥٤)

التحويل من مصدر جهد إلى مصدر تيار أو العكس (Source Conversion) :-

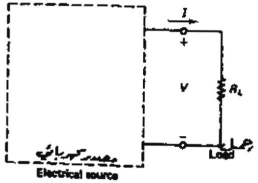
نضطر في بعض الأحيان عند تحليل الدوائر الكهربائية إلى تحويل مصادر التغذية من اجل تبسيط الدائرة .

مـن خـلال تحليـل خواص الجهد والتيار لمصادر التيار ومصادر الجهد يمكن كتابة المعادلات التالية :-

مصدر الجهد :- $V = E - I.R_{int}$

مصدر التيار :- $V = I_S.R_{int} - I.R_{int}$

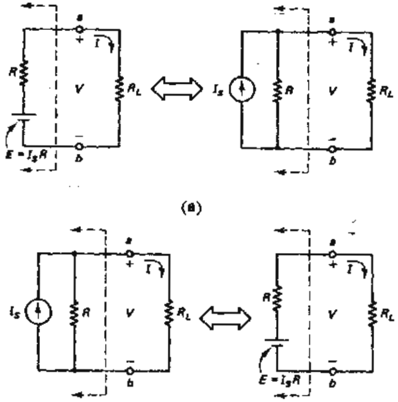
مـن خلال العلاقات السابقة ومن علاقة الجهد مع التيار لهذه المصادر نلاحظ أن كلا المعادلـتين سـوف يعطيان نفس خط الحمل في حالة وحيدة فقط وهي عندما تكون المقاومـة الداخلـية لمصدر الجهد تساوي المقاومة الداخلية لمصدر التيار . وبالتالي فإن الحمـل المبين في الشكل (٢-٥٥) يمكن أن يوصل مع مصدر جهد أو مصدر تيار متكافـئين بحيـث يعطي أي منهما نفس الخاصية للعلاقة بين الجهد والتيار (نفس خط الحمـل) ، أي بمعـنى آخر إذا كانت المقاومة الداخلية لمصدر الجهد تساوي المقاومة الداخلـية لمصدر التيار فإنه يمكن وصل أي من المصدرين مع أطراف الحمل للحصول على نفس التيار المار من خلال الحمل (أو نفس فرق الجهد على أطراف الحمل) .



شكل (٢-٥٥)

وبالتالي يمكن اختيار مصدر جهد مكافئ لمصدر تيار والعكس صحيح .

أي يمكـــن تحويل مصدر التيار إلى مصدر جهد مكافئ له ويمكن كذلك تحويل مصدر الجهد إلى مصـدر تيار مكافئ له ، كما هو مبين في الشـكل (٢-٥٦) .



(b)

شكل (٢-٥٦)

الشـكل (٢-٥٦-a) يبين طريقة التحويل من مصدر جهد إلى مصـدر تيار .

$$I_S = \frac{E}{R_{int}} = \frac{E}{R}$$

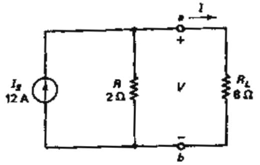
الشـكل (٢-٥٦-b) يبين طريقة التحويل من مصـدر تيار إلى مصـدر جهد .

$$E = I_S . R_{int} = I_S . R$$

مثال (٢-٣٦)

١-احسـب قيمه الجهد V والتيار I للدائرة الكهربائية المبينة في الشـكل (٢-٥٧) .

٢-حول مصدر التيار إلى مصـدر جهد مكافئ واحسـب قيمة كل من الجهد والتيار .



شكل (٢-٥٧)

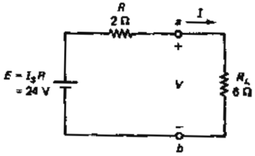
الحل :-

١-باستخدام قانون تقسيم التيار يكون :-

$$I = I_S \times \frac{R}{R+R_L} = 12 \times \frac{2}{2+6} = 3\ A$$

$$V = I.R_L = 3 \times 6 = 18\ V$$

٢- الحل بتحويل مصدر التيار إلى مصدر جهد كما هو مبين في الشكل (٢-٥٨) .



شكل (٢-٥٨)

$$E = I_S.R = 12 \times 2 = 24\ V$$

$$I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{E}{R+R_L} = \frac{24}{2+6} = 3\ A$$

$$V = I.R_L = 3 \times 6 = 18\ V$$

-نظرية التراكب (Superposition Theorem) :-

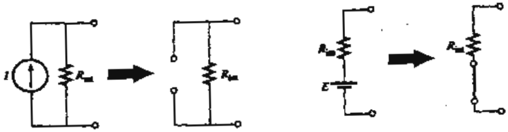
تستخدم هذه النظرية لتحليل الدوائر الكهربائية التي تحتوي على اكثر من مصدر للتغذية سواءً كانت مصادر جهد أو مصادر تيار .وتتلخص هذه النظرية في تحليل الدوائر الكهربائية ، بجعل التأثير على الدائرة مبنياً على أساس أن كل مصدر من مصادر التغذية يؤثر على الدائرة بشكل منفرد وبعد ذلك يتم أخذ المجموع الجبري لتأثير كافة المصادر للدائرة .

ولإبقاء مصدر وحيد يؤثر على الدائرة فإنه لابد من حذف المصادر الأخرى المكونة للدائرة ، وعند حذف مصدر الجهد أو مصدر التيار فإنه تستبدل بهذه المصادر مقاوماتها الداخلية ، فمن اجل حذف مصدر الجهد تتم الاستعاضة عن هذا المصدر بمقاومة قيمتها تساوي الصفر في حال عدم ذكر قيمة المقاومة الداخلية لهذا المصدر (مصدر جهد مثالي) موصولة على التوالي ، بينما تتم الاستعاضة عن مصدر التيار بمقاومة داخلية قيمتها تساوي اللانهاية (مصدر تيار مثالي) موصولة على التوازي كما هو مبين في الشكل (٢-٥٩) .



شكل (٢-٥٩)

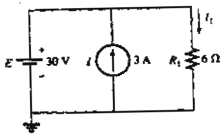
أما في حال ذكر قيمة المقاومة الداخلية لمصدر الجهد أو مصدر التيار (مصادر تغذية عملية) فإنه تتم الاستعاضة عن مصدر الجهد بمقاومته الداخلية الموصولة على التوالي ، والاستعاضة عن مصدر التيار بمقاومته الداخلية الموصولة على التوازي ،كما هو مبين في الشكل (٢-٦٠) .



شكل (٢-٦٠)

مثال (٢-٣٧)

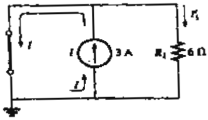
للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٦١) احسب قيمة التيار I_1 باستخدام نظرية التراكب .



شكل (٢-٦١)

الحل :-

١-عند حذف مصدر الجهد تصبح الدائرة كما هو مبين في الشكل (٢-٦٢) .

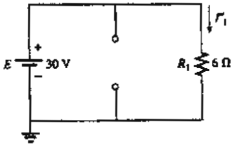


شكل (٢-٦٢)

كما هو واضح من الشكل (٢-٦٢) فإن التيار I سوف يختار الطريق الأسهل (الفرع $R_{SC} = 0\,\Omega$) ، وإذا طبقنا قانون توزيع التيار على الدائرة نحصل على :-

$$I_1' = I \times \frac{R_{SC}}{R_1 + R_{SC}} = 3 \times \frac{0}{6+0} = 0\,A$$

٢–عند حذف مصدر التيار تصبح الدائرة كما هو مبين في الشكل (٢–٦٣) .



شكل (٢–٦٣)

بتطبيق قانون اوم على الدائرة المبينة في الشكل نحصل على :–

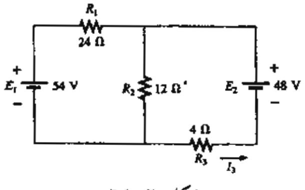
$$I_1'' = \frac{E}{R_1} = \frac{30}{6} = 5\ A$$

وبما أن التيارين I_1', I_1'' لهما نفس الاتجاه فإن التيار I_1 يحسب من العلاقة :–

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 0 + 5 = 5\ A$$

مثال (٢–٣٨)

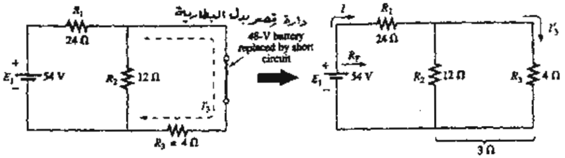
باستخدام نظرية التراكب احسب التيار المار في المقاومة $R_3 = 4\ \Omega$ للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢–٦٤) .



شكل (٢–٦٤)

الحل :–

١–بحذف مصدر الجهد E_2 تصبح الدائرة كما هو مبين في الشكل (٢–٦٥).



شكل (٢-٦٥)

$$R_{eq} = R_1 + (R_2 // R_3) = R_1 + \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

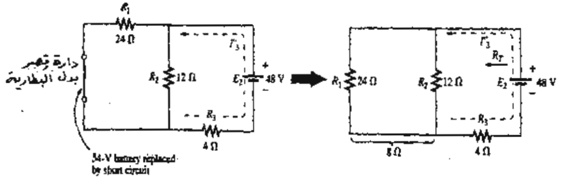
$$R_{eq} = 24 + \frac{12 \times 4}{12 + 4} = 24 + 3 = 27\ \Omega$$

$$I = \frac{E_1}{R_{eq}} = \frac{54}{27} = 2\ A$$

بتطبيق قانون تقسيم التيار نحصل على :-

$$I_3' = I \times \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 2 \times \frac{12}{12 + 4} = 1.5\ A$$

٢-بحذف مصدر الجهد E_1 تصبح الدائرة كما هو مبين في الشكل (٢-٦٦) .



شكل (٢-٦٦)

$$R_{eq} = R_3 + (R_2 // R_1) = R_3 + \frac{R_2 \times R_1}{R_2 + R_1}$$

$$R_{eq} = 4 + \frac{24 \times 12}{24 + 12} = 4 + 8 = 12\ \Omega$$

$$I_3'' = \frac{E_2}{R_{eq}} = \frac{48}{12} = 4\ A$$

التياران ($I_3^{'}, I_3^{''}$) متعاكسان في الاتجاه وبالتالي فان التيار I_3 يحسب من العلاقة :-

$$I_3 = I_3^{''} - I_3^{'} = 4 - 1.5 = 2.5\ A$$

واتجاهه بنفس اتجاه $I_3^{''}$.

نظرية التطابق (النسبة) (Proportionality Theory) :-

تستخدم هذه النظرية في تحليل الدوائر الكهربائية التي تحتوي على مصدر تغذية وحيد.

ولتحليل الدوائر الكهربائية باستخدام هذه النظرية نتبع الخطوات التالية :-

١-يتم فرض قيمة التيار في ابعد فرع للدائرة الكهربائية مساويا ($1\ A$) .

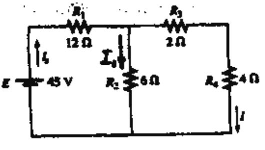
٢-يتم حساب التيارات في الفروع الأخرى والجهود وجهد مصدر التغذية للتيار المفروض .

٣- تحسب النسبة بين جهد المصدر الفعلي للدائرة وجهد المصدر للتيار المفروض.

٤-يتم ضرب القيم الناتجة عن فرض التيار بهذه النسبة من اجل الحصول على القيم الحقيقية للتيارات والجهود في الدائرة .

مثال (٢-٣٩)

باستخدام نظرية التطابق ، احسب التيار الكلي والتيارات في فروع الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٦٧) .



شكل (٢-٦٧)

الحل :-

نفرض أن قيمة التيار I' المار من خلال المقاومة R_4 تساوي امبيراً واحداً .

حسب قانون تقسيم التيار يكون :-

$$I' = I_S' \times \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4} = 1\ A \Rightarrow$$

$$I_S' = I' \times \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2} = 1 \times \frac{6 + 2 + 4}{6} = 2\ A$$

$$I_1' = I_S' \times \frac{R_3 + R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = 2 \times \frac{6}{12} = 1\ A$$

حساب المقاومة المكافئة الكلية للدائرة :-

$$R_{eq} = R_1 + \left[R_2 // (R_3 + R_4)\right]$$

$$R_{eq} = 12 + \frac{6 \times 6}{6 + 6} = 12 + 3 = 15\ \Omega$$

حساب جهد المصدر :-

$$E' = I_S' \times R_{eq} = 2 \times 15 = 30\ V$$

حساب النسبة بين قيم المصدرين :-

$$K = \frac{E}{E'} = \frac{45}{30} = 1.5\ A$$

حساب القيم الحقيقية للتيارات :-

$$I_S = K \times I_S' = 1.5 \times 2 = 3\ A$$

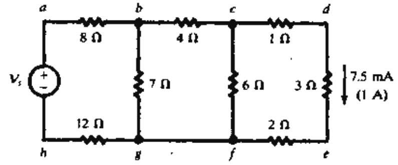
$$I = K \times I' = 1.5 \times 1 = 1.5\ A$$

$$I_1 = K \times I_1' = 1.5 \times 1 = 1.5\ A$$

ويمكن الحصول على النتيجة ذاتها باستخدام أي طريقة أخرى من الطرق سالفة الذكر، مثل قوانين كيرشوف ، أو قوانين إيجاد المقاومة المكافئة للدائرة واستخدام قانون تقسيم التيار .

مثال (٢-٤٠)

للدائـــرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٦٨) احســب باسـتخدام نظرية التطابق جهد المصدر V_S إذا كانت قيمة التيار المار من خلال المقاومة $3\,\Omega$ تــاوي $7.5\,mA$.



شكل (٢-٦٨)

الحل :-

نفرض قيمة التيار المار من خلال المقاومة $3\,\Omega$ يساوي $1\,A$.

$$V_{cf}' = 1\times(1+3+2) = 6\,V$$

$$I_{cf}' = \frac{V_{cf}'}{6} = \frac{6}{6} = 1\,A$$

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار نحصل على :-

$$I_{bc}' = 1+1 = 2\,A$$

ونحسب الجهد والتيار في الفرع bg من العلاقات التالية :-

$$V_{bg}' = 2\times4+6 = 14\,V$$

$$I_{bg}' = \frac{V_{bg}'}{7} = \frac{14}{7} = 2\,A$$

وباستخدام قانون كيرشوف للتيار نحصل على :-

$$I_{ab}' = 2+2 = 4\,A$$

$$V_{ah}' = 4\times8+14+4\times12 = 94\,V = V_S'$$

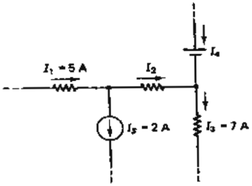
حساب القيمة الحقيقية لمصدر الجهد :-

$$K = \frac{V_S}{V_S'} \Rightarrow V_S = K \times V_S' = \frac{I_{dc}}{I_{dc}'} \times V_S'$$

$$V_S = \frac{7.5 \times 10^{-3}}{1} \times 94 = 0.705\ V$$

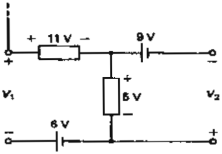
أسئلة

٢-١- احســـب قيمة كل من التيارين I_2, I_4 باستخدام قوانين كيرشوف للشبكة المبينة في الشكل (٢-٦٩) .



شكل (٢-٦٩)

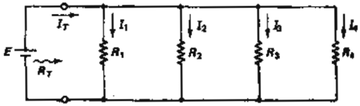
٢-٢-باســتخدام قوانــين كيرشوف احسب قيمة كل من الجهدين V_1, V_2 للشبكة المبينة في الشكل (٢-٧٠) .



شكل (٢-٧٠)

٢-٣-للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٧١) إذا علمت أن :-

$$E = 12\,V, R_1 = 30\,\Omega, R_2 = 60\,\Omega, R_3 = 120\,\Omega, R_4 = 40\,\Omega$$



شكل (٢-٧١)

المطلوب :-١-حساب المقاومة المكافئة للدائرة .

٢- حساب التيار الكلي والتيار في كل فرع من فروع الدائرة .

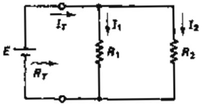
٣-حساب القدرة الفعالة في كل مقاومة من مقاومات الدائرة .

٤-حساب القدرة الفعالة الكلية للدائرة .

٢-٤- للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٧٢) إذا علمت أن :-

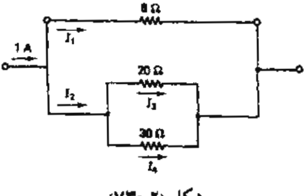
$$E = 30\,V, R_1 = 100\,\Omega, R_2 = 300\,\Omega$$

احسب قيمة المقاومة المكافئة للدائرة والتيار الكلي والتيارات في فروع الدائرة .



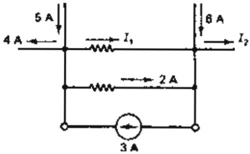
شكل (٢-٧٢)

٢-٥- استخدم قانون تقسيم التيار لحساب التيارات في فروع الدائرة المبينة في الشكل (٢-٧٣) .



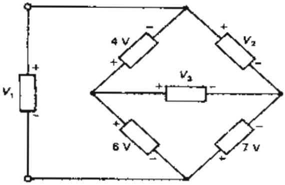
شكل (٢-٧٣)

٢-٦-للشبكة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٧٤) احسب قيم التيارات المجهولة .



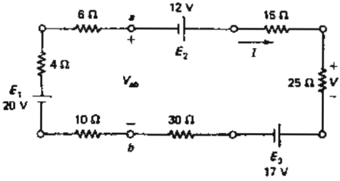
شكل (٢-٧٤)

٢-٧-طبق قوانين كيرشوف للجهد لحساب الجهود المجهولة في الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٧٥) .



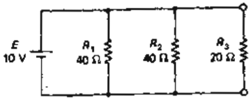
شكل (٢-٧٥)

٢-٨- احسب قيم كل من التيار I والجهد V والجهد V_{ab} في الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٧٦) .



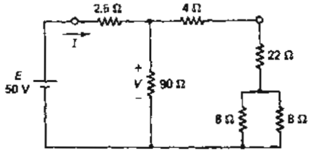
شكل (٢-٧٦)

٢-٩-احســـب قـيمة التيار الكلي والتيار في كل فرع من فروع الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٧٧) .



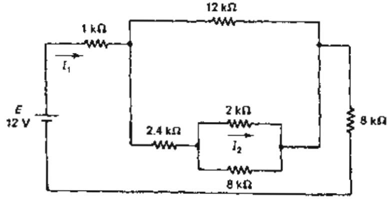
شكل (٢-٧٧)

٢-١٠-احسب التيار I والجهد V والقدرة المستهلكة في كل مقاومة من مقاومات الدائرة والقدرة الكلية المستهلكة في الدائرة المبينة في الشكل (٢-٧٨) .



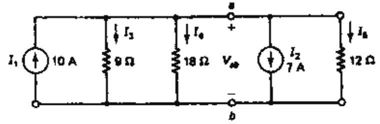
شكل (٢-٧٨)

٢-١١-احسب التيارين I_1, I_2 للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٧٩) .



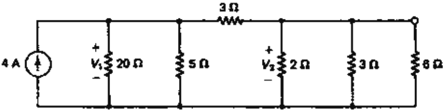
شكل (٢-٧٩)

٢-١٢-باستخدام نظرية التراكب احسب قيم كلٍ من (I_3, I_4, I_5, V_{ab}) في الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٨٠) .



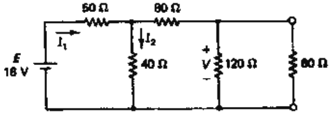
شكل (٢-٨٠)

٢-١٣-باستخدام نظرية التطابق احسب الجهود V_1, V_2 للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٨١) .



شكل (٢-٨١)

٢-١٤-باستخدام نظرية التطابق احسب I_1, I_2, V للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٢-٨٢) .



شكل (٢-٨٢)

الوحدة الثالثة

دوائر التيار (الجهد) المتناوب أحادي الطور

تعريفات أساسية لموجة الجهد وموجة التيار .

المقاومة المادية في دوائر التيار المتناوب .

الملف في دوائر التيار المتناوب .

المكثف في دوائر التيار المتناوب .

القدرة في دوائر التيار المتناوب أحادي الطور .

دائرة مقاومة وملف ومكثف موصولة على التوالي .

رنين التوالي .

دائرة مقاومة وملف ومكثف موصولة على التوازي .

رنين التوازي .

شحن وتفريغ المكثف باستخدام الجهد المستمر .

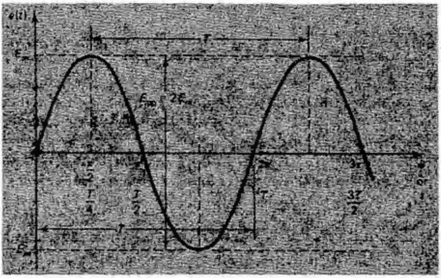
استخدام قوانين كيرشوف لتحليل دوائر التيار المتناوب .

الوحدة الثالثة

دوائر التيار (الجهد) المتناوب أحادي الطور

Alternating Current and Voltage

التيار (الجهد) المتناوب هو التيار (الجهد)الذي تتغير قيمته اللحظية واتجاهه خلال زمن معين .وهنالك أنواع مختلفة من أشكال موجات الجهد المتناوب منها الموجات الجيبية والمربعة والمثلثة وسن المنشار ، ومن أهم أنواع الموجات (التيار أو الجهد) هي الموجة الجيبية . وهي الموجة التي تتغير قيمتها اللحظية حسب قانون الجيب كما في الشكل (٣-١) .



شكل (٣-١)

تعريفات أساسية لموجة التيار أو الجهد المتناوب جيبية الشكل :-

-الزمن الدوري (Period) :- ويرمز له بالرمز (T) ويعرف بأنه اقل زمن بين نقطتين متماثلتين في المقدار والاتجاه من نقاط الموجة ووحدته هي (الثانية (sec)) .

–الـــتردد (Frequency):– ويرمـــز له بالرمز (f) ويعرف بأنه عدد الذبذبات في الثانية . وحدته ($1/\ sec$) وتسمى الهيرتز (Hz).

–السـرعة الـزاوية (Angular Frequency):– ويرمز لها بالرمز(ω) وتعرف بأنها الـزاوية الـتي يدورها الملف في الثانية . وحدتها هي التقدير الدائري (الراديان/ثانية $^{rad}/_{sec}$) .

–زاويـة الطـور للتيار (أو للجهد)(Phase Shift or Phase Angle):– ويرمز لها بالرمز (ϕ) وتعرف بأنها الفترة الزمنية من الزمن الدوري التي اجتازها التيار من نقطة الصفر في آخر مرة . وحدتها إما الثانية أو الراديان .

–زاويـة فرق الطور بين إشارتين :– تعرف بأنها الفترة الزمنية من الزمن الدوري بين إشـارتين مأخوذة عند قيمة الصفر (أو القيمة العظمى) للإشارتين . ويمكن أن تكون مـتقدمة (Lead) أو متأخرة (Lag) ، وفي حال كونها متقدمة تكون إشارتها موجبة وفي حال كونها متأخرة تكون إشارتها سالبة .

–القـيمة العظمى للجهد أو التيار (Maximum Magnitude) :– ويرمز لها بالرمز (I_m, V_m) وتعرف بأنها أقصى قيمة ممكنة للتيار أو الجهد المتناوب عند زمن معين .

–القـيمة بـين القمـة والقاع للجهد أو التيار(Peak to peak) :– ويرمز لها بالرمز (I_{pp}, V_{pp}) : وتعرف بأنها قيمة الجهد أو التيار بين القمة والقاع .

–القيمة الفعالة للجهد أو التيار (Effective Value) :–ويرمز لها بالرمز(I_{rms}, V_{rms}) وتعـرف بأنهـا قيمة التيار المستمر الذي إذا مر خلال مقاومة ولفترة زمنية معينة فإنها تعطي نفس الطاقة التي ينتجها ذلك التيار إذا مر في نفس المقاومة تيار متناوب ولنفس الفترة الزمنية .

–القيمة المتوسطة للجهد أو التيار (Average Value) :– (I_{av}, V_{av}) وتعرف بأنها قيمة الجهد أو التيار خلال نصف دورة $\frac{T}{2}$.

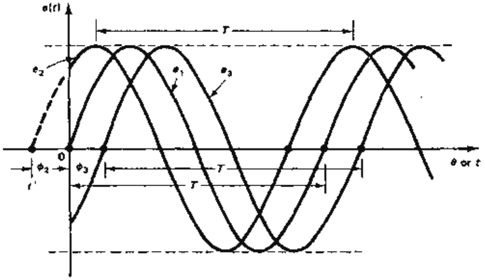
العلاقات الأساسية التي تربط التعريفات الأساسية مع بعضها في دوائر التيار المتناوب :–

$$f = \frac{1}{T}$$
$$\omega = 2\pi f$$

الصيغة العامة للموجة الجيبية تعطى بالعلاقة :–

$$V(t) = V_m Sin\ (\omega\ t + \phi)$$

زوايا فرق الطور بين عدة إشارات كما هو مبين في الشكل (٣–٢) :–



شكل (٣–٢)

وتعطى الصيغة العامة للموجات الجيبية الثلاث بالعلاقات :–

$$e_1 = E_m Sin(\omega\ t)$$
$$e_2 = E_m Sin(\omega\ t + \phi_2)$$
$$e_3 = E_m \sin(\omega\ t - \phi_3)$$

حيث أن e_2 تتقدم على e_1 بزاوية ϕ_2 و e_1 تتقدم على e_3 بزاوية ϕ_3 .

مثال (٣-١)

ارسم شكل الموجة لدورة واحدة لموجة الجهد المعطى بالعلاقة :-

$$e(t) = 170\ Sin\left(377\ t + 45^{\circ}\right) \qquad V$$

واحسب كلاً من E_m, ω, f, T, ϕ والقيمة اللحظية للجهد عندما $t = 1\ ms$.

الحل :-

$$E_m = 170\ V$$

$$\omega = 377\ {}^{rad}/_{sec}$$

$$\phi = 45^{\circ} = \frac{\pi}{4} = 0.785\ rad$$

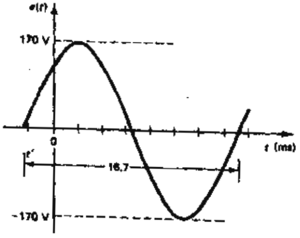
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{377}{6.283} = 60\ Hz$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 16.67\ ms$$

عندما $t = 1\ ms$ فإن :-

$$e(t) = 170\ Sin\left(377 \times 1 \times 10^{-3}\ rad + 45^{\circ}\right)$$
$$= 170\ Sin\left(0.377 \times 57.3^{\circ} + 45^{\circ}\right)$$
$$= 170\ Sin\left(21.6^{\circ} + 45^{\circ}\right) = 156\ V$$

والشكل (٣-٣) يبين شكل هذه الموجة لدورة واحدة :-



شكل (٣-٣)

القيم الفعالة للجهد أو التيار تعطى بالعلاقات التالية :—

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)dt}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)dt}$$

وللموجة الجيبية فإن هذه القيم تساوي :—

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

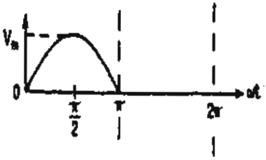
القيم المتوسطة للجهد أو التيار تعطى بالعلاقات التالية :—

$$V_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,dt$$

$$I_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T i(t)\,dt$$

وللموجة المبينة في الشكل (٣–٤) فإن القيمة المتوسطة للجهد تعطى بالعلاقة :—

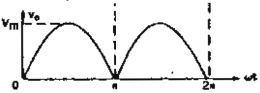
$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_m\ Sin\left(\omega t\right)dt = \frac{V_m}{\pi}$$



شكل (٣–٤)

بينما للموجة المبينة في الشكل (٣−٥) فإن القيمة المتوسطة للجهد تعطى بالعلاقة :−

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_m \; Sin\left(\omega t\right) dt = \frac{2V_m}{\pi}$$



شكل (٣−٥)

مثال (٣−٢)

تيار متردد يعطى بالعلاقة التالية :− $i(t) = 20Sin(600t)$ احسب ما يلي :−

١−تردد الموجة .

٢−القيمة اللحظية بعد $600\times10^{-6}\,Sec$ من مرور التيار من الصفر .

٣−الزمن اللازم حتى يصل التيار إلى 10 A. ٤−القيمة الفعالة للتيار .

٥−القيمة المتوسطة للتيار .

الحل:

−١

$$\omega = 2\pi f = 600 rad/s \Rightarrow f = \frac{600}{2\pi} = 95.5HZ$$

−٢

$$i(t) = 20Sin(600\times600\times10^{-6}) = 20Sin(0.36)$$

$$\begin{matrix}\pi\to180^\circ \\ 0.36\to?\end{matrix} \Rightarrow \omega t = \frac{0.36\times180}{\pi} = 20.7^\circ$$

$$i(t) = 20Sin(\omega t) = 20Sin(20.7^\circ) = 7.04A$$

-٣

$$i(t) = 20Sin(600t)$$

$$10 = 20Sin(600t) \Rightarrow Sin(600t) = \frac{10}{20} = 0.5$$

$$600t = Sin^{-1}(0.5) \Rightarrow t = 872\mu s$$

٤-القيمة الفعالة تساوي :-

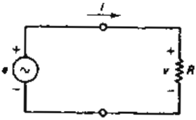
$$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14.142A$$

٥-القيمة المتوسطة تساوي :-

$$I_{av} = \frac{2I_{max}}{\pi} = \frac{2 \times 20}{\pi} = 12.74A$$

المقاومة المادية في دوائر التيار المتناوب (R):-

إذا طبق جهد متناوب جيبي الشكل $e(t)$ على دائرة تحتوي على مقاومة R كما هو مبين في الشكل (٣-٦).



شكل (٣-٦)

فإن التيار المار خلال المقاومة يعطى حسب قانون اوم بالعلاقة التالية :-

$$V = R \times i$$

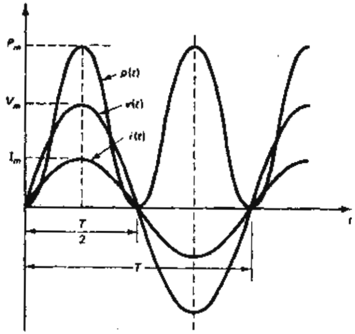
$$e(t) = E_m Sin(\omega t)$$

$$i(t) = I_m Sin(\omega t)$$

$$i(t) = \frac{e(t)}{R} = \frac{E_m Sin(\omega t)}{R}$$

$$I_m = \frac{E_m}{R}$$

في هذه الحالة يكون الجهد والتيار متفقين في الطور أي زاوية فرق الطور بينهما تساوي الصفر، أي أن التيار يمر بقيمة الصفر والقيمة العظمى لحظة مرور الجهد فيهما ،كما هو مبين في الشكل (٣-٧) .



شكل (٣-٧)

القدرة اللحظية في المقاومة المادية تعطى بالعلاقة :-

$$P(t) = i.v = I_m.V_m.Sin^2(\omega t)$$

$$P(t) = \frac{I_m.V_m}{2}(1 - Cos2\omega t)$$

$$P(t) = \frac{I_m.V_m}{2} - \frac{I_m.V_m}{2} \times (Cos2\omega t)$$

أي أن القدرة اللحظية في المقاومة في دوائر التيار المتناوب تتكون من مركبتين :

المركبة الأولى ثابتة وتساوي :- $\frac{I_m.V_m}{2}$

المركبة الثانية متغيرة مع الزمن وتساوي :- $\frac{I_m.V_m}{2} \times (Cos2\omega\, t)$ ، وهي تعتمد على ضعف قيمة التردد للجهد والتيار .

وتعطى القدرة الفعالة في المقاومة المادية بالعلاقة :-

$$P = I_{rms} \times V_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{R} = I_{rms}^2 \times R \qquad [Watt]$$

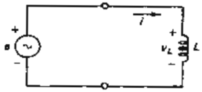
وتعطى القدرة العظمى في المقاومة المادية بالعلاقة :-

$$P_m = I_m \times V_m = \frac{V_m^2}{R} = I_m^2 \times R \qquad [Watt]$$

وتكون القدرة اللحظية في المقاومة دائما موجبة لان التيار والجهد لهما قيم موجبة أو قيم سالبة بنفس الوقت .

الملف في دوائر التيار المتناوب (L) :-

عـــند تطبيق جهد متناوب على ملف مقاومته الداخلية مهملة كما هو مبين في الشكل (٣-٨)



شكل (٣-٨)

فـــإن التـــيار المتـــناوب (i)سوف يمر من خلال الملف مما يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربائـــية تعاكس تغير التيار $\frac{di}{dt}$ المار في الملف وتتناسب القوة الدافعة الكهربائية مع معدل تغير التيار .فإذا كان التيار جيبي الشكل :-

$$i(t) = I_m Sin\,\omega t$$

فان الجهد حسب قانون فارداي (Farady) يكون :-

$$v(t) = L\frac{di}{dt} = L\frac{d(I_m Sin\omega\, t)}{dt}$$

$$v(t) = L\,\omega \times I_m \times Cos\omega\, t$$

$$v(t) = V_m\ Sin\,(\omega\, t + 90)$$

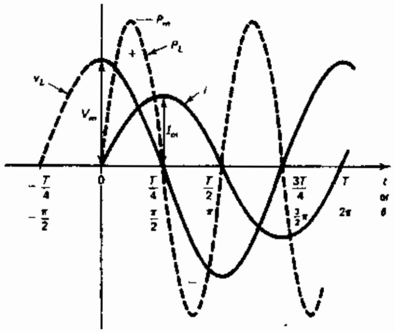
$$V_m = \omega\, L\, I_m$$

$$\omega\, L = \frac{V_m}{I_m} \Rightarrow X_L = \omega\, L = \frac{V_m}{I_m} = 2\pi\ f\ L \qquad [\Omega]$$

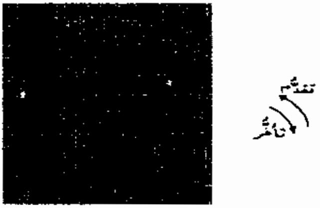
حيث X_L هي المفاعلة الحثية وتقاس بالاوم إذا كانت ω مقاسة بالتقدير الدائري (rad/sec) ومعامل الحث الذاتي للملف L مقاساً بالهنري (H) .من علاقة المفاعلة الحثية للملف نلاحظ أنها تعتمد بشكل أساسي على التردد وقيمتها تتناسب تناسباً طردياً معه فعند القيم المرتفعة للتردد فإن قيمة المفاعلة الحثية للملف تزداد بشكل كبير، وعند تردد $f = \infty$ فإن $X_L = \infty$ والملف في هذه الحالة يمثل حالة الدائرة المفتوحة .

وعند تردد $f = 0$ (حالة الجهد المستمر) فإن $X_L = 0$ والملف في هذه الحالة يمثل حالة الدائرة المقصورة .

من معادلة الجهد نلاحظ أن الجهد $v(t)$ يتقدم على التيار $i(t)$ بزاوية 90° كما هو مبين في الشكل (٣-٩) . ويرسم المخطط الشعاعي بأخذ المتجه I_m كمرجع والمتجه V_m يتقدمه بزاوية 90° كما هو مبين في الشكل (٣-١٠).



شكل (٣-٩)



شكل (٣-١٠)

القدرة اللحظية خلال الملف :-

تعطى القدرة خلال الملف بالعلاقة التالية :

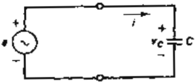
$$P(t) = v(t) \times i(t) = V_m Sin(\omega\, t + 90°) \times I_m Sin\omega\, t$$

$$P(t) = -\frac{V_m I_m}{2} \times Sin\, 2\omega\, t$$

ونلاحظ أن القدرة المستهلكة خلال دورة كاملة تساوي الصفر.

المكثف في دوائر التيار المتناوب (C) :-

عند تطبيق جهد متناوب $v(t)$ على طرفي مكثف C كما هو مبين في الشكل(٣-١١) فان المكثف يشحن باتجاه معين ويفرغ بالاتجاه المعاكس .



شكل (٣-١١)

إذا كان الجهد المطبق على المكثف جيبي الشكل $v(t) = V_m Sin\omega t$ فان التيار يعطى بالعلاقة التالية :-

$$i(t) = C\frac{dv(t)}{dt} = C\frac{d(V_m Sin\omega\, t)}{dt}$$

$$i(t) = \omega\, C\, V_m Cos\omega\, t = \frac{V_m}{1/\omega\, C} Sin(\omega\, t + 90°)$$

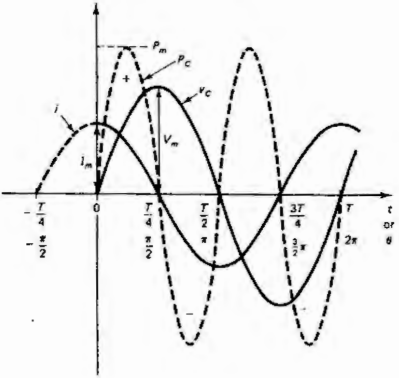
$$i(t) = I_m Sin(\omega\, t + 90°) \Rightarrow I_m = \frac{V_m}{1/\omega\, C}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega\, C} = \frac{1}{2\pi\, f\, C} \qquad [\Omega]$$

حيث X_C هي المفاعلة السعوية للمكثف وتقاس بالاوم (Ω) ، عندما تقاس سعة المكثف بالفاراد (F) و ω بالتقدير الدائري(rad/s) .

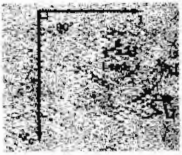
ويلاحظ من علاقة المفاعلة السعوية للمكثف أن قيمتها تعتمد بشكل أساسي على التردد ،فعند زيادة قيمة التردد فان قيمة المفاعلة السعوية تقل وعند تردد $f = \infty$ فإن $X_C = 0$ وهذا يعني أنه عند تردد لانهائي فإن المكثف يصبح مكافئاً لدائرة قصر . وعند القيم القليلة للتردد فإن قيمه المفاعلة السعوية تزداد ، وعندما يكون التردد مساوياً الصفر (حالة الجهد المستمر) فإن المفاعلة السعوية للمكثف تساوي اللانهاية ، أي يصبح المكثف مكافئاً للدائرة المفتوحة في هذه الحالة .

الشكل (٣-١٢) يبين شكل موجة الجهد والتيار للمكثف .



شكل (٣-١٢)

نلاحـــظ مـــن الشكل ومن المعادلات السـابقة أن موجة الجهد تتأخر عن موجة التيار بـــزاوية 90° أي أن التـــيار يتقدم على الجهد بزاوية 90° ونرسم المخطط الشعاعي لجهد وتيار المكثف كما في الشكل(٣-١٣) بأخذ المتجه I كمرجع .



شكل (٣-١٣)

القدرة اللحظية للمكثف :-

تعطى القدرة اللحظية في دائرة المكثف بالعلاقة التالية :-

$$P(t) = v(t) \times i(t) = V_m Sin\ (\omega\ t) \times I_m Sin\ (\omega\ t + 90°)$$

$$P(t) = \frac{V_m I_m}{2} Sin\ 2\omega\ t$$

<u>القدرة في دوائر التيار المتناوب أحادية الطور :-</u> تقسم القدرة في دوائر التيار المتناوب أحادية الطور إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي :-

١-القدرة الظاهرية :- يرمز لها بالرمز (S) وتعطى بالعلاقة :-

$$S = V.I \qquad [VA]$$

٢-القدرة الفعالة :- يرمز لها بالرمز (P) وتعطى بالعلاقة :-

$$P = V.I.Cos\ \phi \qquad [Watt]$$

٣-القدرة غير الفعالة :- يرمز لها بالرمز (Q) وتعطى بالعلاقة :-

$$Q = V.I.Sin\ \phi \qquad [VAR]$$

حيث أن ϕ هي زاوية فرق الطور بين الجهد والتيار .

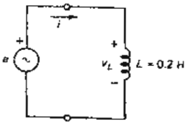
مثال (٣-٣)

ملف يطبق عليه جهد متناوب يعطى بالعلاقة : $v(t) = 100\ Sin\ (628\ t + 90^{\circ})\ V$

كما هو مبين في الشكل (٣-١٤) ، المطلوب :-

١-حساب تردد مصدر التغذية .   ٢-حساب المفاعلة الحثية للملف .

٣-الصيغة العامة للقيمة اللحظية للتيار .   ٤-رسم المخطط الشعاعي للجهد والتيار .



شكل (٣-١٤)

الحل:-١-

$$\omega = 2\pi f = 628 \frac{rad}{sec}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2 \times 3.14} = 100\ Hz$$

-٢ $X_L = \omega \times L = 628 \times 0.2 = 125.6 \quad \Omega$

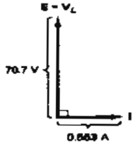
-٣

$$I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{100}{125.6} = 0.796 \quad A$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{0.796}{\sqrt{2}} = 0.563 \quad A$$

$$i(t) = I_m\ Sin(\omega\ t) = 0.796\ Sin\ (628\ t) \quad A$$

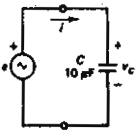
٤-المخطط الشعاعي مبين في الشكل (٣-١٥):-



شكل (٣-١٥)

مثال (٣-٤)

الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٣-١٦) مؤلفة من مكثف يطبق عليه جهد قيمته الفعالة ($35.4\ V$) بتردد $159\ Hz$.



شكل (٣-١٦)

المطلوب :-

١-استنتج الصيغة العامة اللحظية للجهد والتيار إذا كانت قيمة التيار تساوي $i = 0$ في اللحظة $t = 0$.

٢-ارسم المخطط الشعاعي للجهد والتيار .

الحل :-١-

$$\omega = 2\,\pi\, f = 6.28 \times 159 = 1000\ \frac{rad}{sec}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega . C} = \frac{1}{1000 \times 10 \times 10^{-6}} = 100 \quad \Omega$$

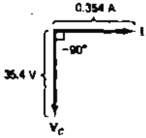
$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_C} = \frac{35.4}{100} = 0.354 \quad A$$

في اللحظة $t = 0$ فإن $i = 0$ وبالتالي فإن التيار هو المرجع في هذه الحالة ، وزاوية فرق الطور بين الجهد والتيار تساوي :- $\phi = -90^{\circ}$.

$$i(t) = 0.354 \times \sqrt{2}\ Sin\,(1000\,t) = 0.5\ Sin\,(1000\,t) \quad A$$

$$v(t) = 35.4 \times \sqrt{2}\ Sin\,(1000\,t) = 50\ Sin\,(1000\,t - 90^{\circ}) \quad V$$

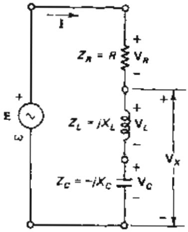
٢- المخطط الشعاعي مبين في الشكل (٣-١٧) :-



شكل (٣-١٧)

دائرة مقاومة وملف ومكثف موصولة على التوالي (Series R L C Circuit):-

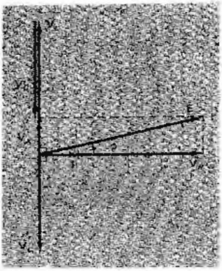
إذا طبق جهد متناوب على دائرة مكونة من مقاومة وملف ومكثف موصولة على التوالي كما هو مبين في الشكل (٣-١٨)



شكل (٣-١٨)

فان جهد المصدر حسب قانون كيرشوف يساوي مجموع الجهود على كل من المقاومة والملف والمكثف ، والجمع في هذه الحالة يكون جمع متجهات لوجود زاوية فرق الطور بين الجهد والتيار في كل من الملف والمكثف وتكون زاوية فرق الطور بين الجهد المطبق على الملف والجهد المطبق على المكثف تساوي 180° مما يؤدي إلى تكون دائرة ذات ممانعة حثية أو سعوية معتمدة على قيمة أيهما جهده اكبر من الآخر.

الجهد على المقاومة يكون متفقا في الطور مع التيار ،أما في الملف فان الجهد يتقدم على التيار بزاوية 90° ،أما في المكثف فان الجهد يتأخر عن التيار بزاوية 90° . وعند جمع المتجهات فإننا نعمل على إزاحة V_C إلى الأعلى لتنطبق نهاية V_C مع بداية V_L ، ثم نجد الفرق بينهما ($V_L - V_C$) ، وبعد ذلك تكمل متوازي الأضلاع ليكون قطره يمثل محصلة المتجهات الثلاثة ،كما هو مبين في الشكل (٣-١٩) :-



شكل (٣-١٩)

وقيم الجهود تعطى بالعلاقات التالية :-

$$\vec{E} = \vec{V}_T = \vec{V}_R + \vec{V}_L + \vec{V}_C$$

$$V_T = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = \sqrt{I^2.R^2 + (I.X_L - I.X_C)^2}$$

$$V_T = I \times \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = I.Z$$

حيث Z هي الممانعة المكافئة للدائرة ووحدها هي الاوم وتعطى بالعلاقة :-

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

ويعطى هبوط الجهد على كل عنصر من عناصر الدائرة بالعلاقات التالية :-

$$V_R = I.R \qquad [V]$$
$$V_L = I.X_L \qquad [V]$$
$$V_C = I.X_C \qquad [V]$$

مـــن المخطط الشعاعي للدائرة وحسب قيم كلٍ من الملف والمكثف يمكن مناقشة ثلاثة أوضاع لهذه الدائرة :-

١-عـــندما تكـــون $X_C < X_L$ أي أن $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ وبالـــتالي فـــإن $I\ X_L > I\ X_C$ أي أن $V_L > V_C$ ، في هذه الحالة محصلة جهد الملف وجهد المكثف V_X تتقدم على التيار I بزاوية مقدارها 90° .

والجهد الكلي ($E = V_T$) يتقدم على التيار بزاوية ϕ (زاوية فرق الطور بين الجهـــد الكلي والتيار الكلي وهي في هذه الحالة موجبة) وتكون الدائرة ذات طبيعة حثية (**Predominantly Inductive**) .

٢- عندما تكون $X_C > X_L$ أي إن $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ وبالتالي فإن $I X_L < I X_C$ أي أن $V_L < V_C$، في هذه الحالة محصلة جهد الملف وجهد المكثف V_X تتأخر عن التيار الكـــلي I بـــزاوية مقدارهـــا °90 ، والجهد الكلي $E = V_T$ يتأخرعن التيار I بزاوية قدرها ϕ (زاوية فرق الطور بين الجهد الكلي والتيار الكلي وهي في هذه الحالة سالبة) وتكون الدائرة في هذه الحالة ذات طبيعة سعوية (**Predominantly Capacitive**) .

٣- عـــندما تكـــون $X_C = X_L$ أي أن $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ وبالـــتالي فـــإن $I X_L = I X_C$ أي أن $V_L = V_C$ ، وتكـــون محصلة جهد الملف وجهد المكثف في هذه الحالـــة تـــساوي الصـــفر ($V_X = V_L - V_C$) ، وزاوية فرق الطور بين الجهد الكلي والتيار الكلي في هذه الحالة $\phi = 0^\circ$ ، والجهد الكلي للدائرة يساوي هبوط الجهد على المقاومـــة ، وتكـــون الدائـــرة ذات طبـــيعة ماديـــة وتحقـــق شـــرط الـــرنين (**Resonance Condition**). وتســـمى الدائـــرة الكهربائية في هذه الحالة دائرة رنين الـــتوالي ، وفي هذه الحالة يسمى التردد تردد الرنين ويرمز له بالرمز f_0 وتعطى قيم المفاعلة السعوية للمكثف والمفاعلة الحثية للملف بالعلاقات التالية :-

$$X_C = \frac{1}{2\pi . f_0 . C}$$

$$X_L = 2\pi . f_0 . L$$

وتحسب قيمة تردد الرنين من علاقة تحقق شرط الرنين وهي :-

$$X_C = X_L$$

$$\frac{1}{2\pi.f_0.C} = 2\pi.f_0.L \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L.C}}$$

معامل القدرة (Power Factor) :- هو جيب تمام الزاوية المحصورة بين التيار الكلي والجهد الكلي للدائرة .وهو بدون وحدة وقيمته تتراوح بين الصفر والواحد ويرمز له بالرمز PF ويعطى بالعلاقة :-

$$PF = Cos\phi = \frac{R}{Z}$$

وفي حالة رنين التوالي فإن :-

$$\phi = 0 \Rightarrow Cos\,\phi = 1 = PF$$

$$Z = R$$

معـــامل الجودة للملف (Quality Factor) :-ويرمز له بالرمز (Q)، وهو عبارة عن ثابت للملف يبين النسبة بين مفاعلة الملف ومقاومته عندما يوصل هذا الملف في دائرة تردد مصدر التغذية لها مرتفع.ويعطى معامل الجودة للملف بالعلاقة التالية :-

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega \times L}{R}$$

وفي حالة الرنين يعطى بالعلاقة التالية :-

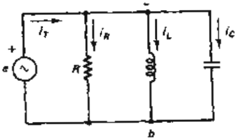
$$Q_o = \frac{\omega_o \times L}{R} = \frac{V_L}{V_T} = \frac{V_C}{V_T}$$

ω_o – التردد الزاوي في حالة الرنين .

V_T – الجهد الكلي للدائرة في حالة الرنين .

دائرة مقاومة وملف ومكثف موصولة على التوازي (Parallel RLC Circuit):-

عـــند وصـل مقاومة وملف ومكثف على التوازي في دائرة وتطبيق جهد متناوب عليها كما هو مبين في الشكل (٣-٢٠)



شكل (٣-٢٠)

ففي هذه الحالة سوف يتوزع التيار الكلي إلى تيارات فرعية في كل من المقاومة والملف والمكثف بحيث يكون المجموع الشعاعي لهذه التيارات مساوياً التيار الكلي للدائرة أي أن :-

$$\overrightarrow{I_T} = \overrightarrow{I_R} + \overrightarrow{I_L} + \overrightarrow{I_C}$$

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{\frac{V_R^2}{R^2} + \left(\frac{V_L}{X_L} - \frac{V_C}{X_C}\right)^2}$$

يمكن إخراج الجهد كعامل مشترك خارج إشارة الجذر حيث أن :-

$$\bar{V}_T = \bar{V}_R = \bar{V}_L = \bar{V}_C = \bar{E}$$

$$I_T = V_T \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} = V \times Y$$

حيث Y تمثل المسايرة والممانعة الكلية للدائرة تعطى بالعلاقة :-

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

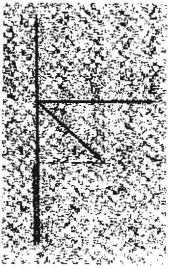
ويعطى التيار المار من خلال كل عنصر من عناصر الدائرة بالعلاقات التالية :-

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_T}{R}$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L} = \frac{V_T}{X_L}$$

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = \frac{V_T}{X_C}$$

ويرســـم المخطط الشعاعي للدائرة في هذه الحالة بأخذ الجهد كمرجع كما هو مبين في الشكل (٣-٢١) .



شكل (٣-٢١)

التـــيار المار من خلال المقاومة يكون منطبقاً في الطور مع الجهد ، والتيار المار من خلال الملف يتاخر عن الجهد بزاوية °90 (إذا كان الملف مثالياً) ، أما التيار المار من خـــلال المكثف فهو يتقدم على الجهد بزاوية مقدارها °90 (إذا كان المكثف مثالياً)، وبالـــتالي فإن زاوية فرق الطور بين تيار الملف وتيار المكثف تساوي °180 .يطرح من نهاية شعاع تيار الملف قيمة تيار المكثف للحصول على محصلة تيار الملف وتيار المكثف ($I_X = I_L - I_C$) ، من نهاية هذا الشعاع يرسم متوازي الأضلاع للحصول على التيار الكلي للدائرة .

مـــن المخطـــط الشعاعي للدائرة وحسب قيمة كلٍ من تيار الملف وتيار المكثف يمكن مناقشة ثلاثة أوضاع :-

١-إذا كانت $X_L < X_C$ فإن $I_L > I_C$ وفي هذه الحالة يكون اتجاه التيار I_X بـــنفس اتجـــاه التيار I_L ، وبالتالي فإن التيار الكلي I_T يتأخر عن الجهد ($V = E$) بـــزاوية فـــرق الطور ϕ التي تكون سالبة في هذه الحالة ، وتكون الدائرة ذات طبيعة حثية .

٢- إذا كانت $X_L > X_C$ فإن $I_L < I_C$ وفي هذه الحالة يكون اتجاه التيار I_X بـــنفس اتجـــاه التيار I_C ، وبالتالي فإن التيار الكلي I_T يتقدم على الجهد ($V = E$) بـــزاوية فرق الطور ϕ التي تكون موجبة في هذه الحالة ، وتكون الدائرة ذات طبيعة سعوية .

٣-إذا كانـــت $X_C = X_L$ في هذه الحالة يكون التيار المار من خلال الملف يساوي التيار المار من خلال المكثف ومحصلتهما تساوي الصفر ($I_X = I_L - I_C = 0$) ويكون التيار الكلي للدائرة مـــساوياً التيار المار من خلال المقاومة ($I_T = I_R$) ومنطبقاً في الطور مع الجهد أي أن زاوية فرق الطور ϕ تساوي الصفر. ويطلق على هذه الحالة حالة رنين التوازي.

وتحسب قيمة تردد الرنين من علاقة تحقق شرط الرنين وهي :-

$$X_C = X_L$$

$$\frac{1}{2\pi.f_0.C} = 2\pi.f_0.L \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L.C}}$$

يعطى معامل القدرة بالعلاقة :-

$$PF = Cos\phi = \frac{I_R}{I_T}$$

وفي حالة رنين التوازي فإن :-

$$\phi = 0 \Rightarrow Cos\ \phi = 1 = PF$$
$$I_T = I_R$$

ويعطى معامل الجودة للملف في حالة رنين التوازي بالعلاقة التالية :-

$$Q_o = \frac{R}{\omega_o\ .L} = \omega_o\ .C.R$$

ω_o – التردد الزاوي في حالة الرنين .

ويكون التيار في حالة رنين التوازي متحداً في الطور مع الجهد المطبق وذا قيمة قليلة بينما تكون الممانعة في هذه الحالة ذات قيمة مرتفعة وتحسب من العلاقة :-

$$Z = \frac{V}{I_0} = R$$

حيث أن I_o هو التيار الكلي للدائرة في حالة الرنين .

مثال (٣-٥)

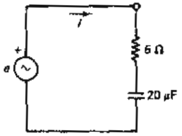
للدائــرة الكهربائــية المبيـــنة في الشكل (٣-٢٢) إذا كان التيار لهذه الدائرة يعطى بالعلاقة : $i(t) = 2\ Sin\left(5000t + 90^{\circ}\right)\quad A$. المطلوب :-

١-احسب قيمة الجهد المطبق على الدائرة .

٢-احسب قيمة الجهد المطبق على كل عنصر من عناصر الدائرة .

٣-ارسم المخطط الشعاعي للدائرة .

٤-احسب القدرة المستهلكة في الدائرة .



شكل (٣-٢٢)

الحل :-

١-

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}\quad A$$

$$X_C = \frac{1}{\omega . C} = \frac{1}{5000 \times 20 \times 10^{-6}} = 10\quad \Omega$$

$$Z = \sqrt{(R)^2 + (X_C)^2} = \sqrt{(5)^2 + (10)^2} = 11.18\quad \Omega$$

$$V_{rms} = I_{rms} \times Z = \sqrt{2} \times 11.18 = 15.8\quad V$$

$$V_m = I_m \times Z = \sqrt{2} \times I_{rms} \times Z = 2 \times 11.18 = 22.36\quad V$$

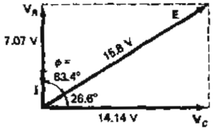
$$Cos\,\phi = \frac{R}{Z} = \frac{5}{11.18} = 0.447 \Rightarrow \phi = 63.4^{\circ}$$

$$v(t) = e(t) = V_m \ Sin\,(\omega\, t - \phi)$$
$$v(t) = 22.36 \ Sin\,(5000\,t - 63.4) \quad V$$

-٢

$$V_R = I_{rms} \times R = \sqrt{2} \times 5 = 7.07 \quad V$$
$$V_C = I_{rms} \times X_C = \sqrt{2} \times 10 = 14.14 \quad V$$

٣- المخطط الشعاعي للدائرة مبين في الشكل (٣-٢٣)



شكل (٣-٢٣)

-٤

$$P = V_{rms} \times I_{rms} \times Cos\phi$$
$$P = 15.8 \times \sqrt{2} \times 0.447 = 10 \quad W$$
$$P = I_{rms}^2 \times R$$

مثال (٣-٦)

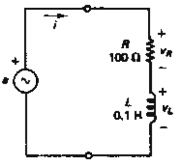
دائرة كهربائية مؤلفة من مقاومة وملف موصولين على التوالي مع مصدر جهد متناوب كمــاهو مبين في الشكل (٣-٢٤) .إذا كانت القيمة الفعالة للجهد على كل عنصر من العناصر تساوي V 10 . المطلوب :-

١-حساب تردد المصدر .

٢-إيجاد الصيغة العامة للقيمة اللحظية للتيار .

٣-حساب الممانعة الكلية للدائرة ورسم مثلث الممانعات للدائرة .

٤-إيجاد الصيغة العامة للجهد ، ورسم مثلث الجهود للدائرة .



شكل (٣-٢٤)

الحل :-١-

$$V_R = I_{rms} \times R \Rightarrow I_{rms} = \frac{V_R}{R} = \frac{10}{100} = 0.1 \quad A$$

$$V_L = I_{rms} \times X_L \Rightarrow X_L = \frac{V_L}{I_{rms}} = \frac{10}{0.1} = 100 \quad \Omega$$

$$X_L = \omega . L \Rightarrow \omega = \frac{X_L}{L} = \frac{100}{0.1} = 1000 \frac{rad}{s}$$

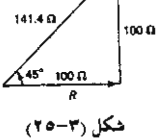
$$\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1000}{2 \times \pi} = 159 \ Hz$$

-٢

$$i(t) = I_m \ Sin(\omega t) = \sqrt{2} \times 0.1 \ Sin(1000 \ t)$$
$$i(t) = 0.1414 \ Sin(1000 \ t)$$

-٣ $$Z = \sqrt{(R)^2 + (X_L)^2} = \sqrt{(100)^2 + (100)^2} = 141.4 \quad \Omega$$

مثلث الممانعات مبين في الشكل (٣-٢٥) .



شكل (٣-٢٥)

٤-

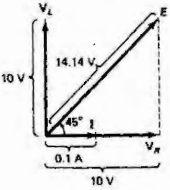
$$V_{rms} = I_{rms} \times Z = 0.1 \times 141.4 = 14.14 \quad V$$

$$V_m = \sqrt{2} \times V_{rms} = \sqrt{2} \times 14.14 = 20 \quad V$$

$$Cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{100}{141.4} = 0.707 \Rightarrow \phi = 45^{\circ}$$

$$v(t) = V_m Sin\left(\omega\, t + \phi\right) = 20\ Sin\left(1000\, t + 45^{\circ}\right) \quad V$$

مثلث الجهود مبين في الشكل (٣-٢٦)



شكل (٣-٢٦)

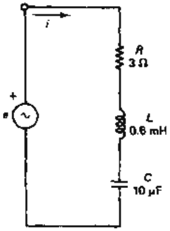
مثال (٣-٧)

للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٣-٢٧) إذا كان الجهد يعطى بالعلاقة التالية : $e(t) = 70.7\ Sin\left(10000\, t\right) \quad V$. المطلوب :-

١-حساب الممانعة الكلية للدائرة .

٢-كتابة الصيغة العامة للقيمة اللحظية للتيار .

٣-حساب القدرة المستهلكة في الدائرة ، ورسم المخطط الشعاعي للدائرة .



شكل (٣-٢٧)

الحل :-

١-

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{10000 \times 10 \times 10^{-6}} = 10 \quad \Omega$$

$$X_L = \omega L = 10000 \times 0.6 \times 10^{-3} = 6 \quad \Omega$$

$$Z = \sqrt{(R)^2 + (X_C - X_L)^2} = \sqrt{(3)^2 + (10-6)^2} = 5 \quad \Omega$$

٢-

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{70.7}{5} = 14.14 \quad A$$

$$Cos\, \phi = \frac{R}{Z} = \frac{3}{5} = 0.6 \Rightarrow \phi = Cos^{-1} 0.6 = 53.13^\circ$$

$$i(t) = I_m Sin\,(\omega\, t + \phi) = 14.14\, Sin\,(10000\, t + 53.13^\circ) \quad A$$

٣-

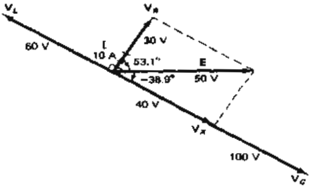
$$P = V_{rms} \times I_{rms} \times Cos\, \phi = I_{rms}^2 \times R$$

$$P = \frac{70.7}{\sqrt{2}} \times \frac{14.14}{\sqrt{2}} \times 0.6 = 300 \quad W$$

لرسم المخطط الشعاعي للدائرة لابد من حساب القيمة الفعالة لهبوط الجهد على كل عنصر من عناصر الدائرة :-

$$V_R = I_{rms}.R = 10 \times 3 = 30 \quad V$$
$$V_C = I_{rms}.X_C = 10 \times 10 = 100 \quad V$$
$$V_L = I_{rms}.X_L = 10 \times 6 = 60 \quad V$$

المخطط الشعاعي مبين في الشكل (٣-٢٨) .



شكل (٣-٢٨)

مثال (٣-٨)

التيار الكلي للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٣-٢٩) يعطى بالعلاقة :-

$i_T(t) = 7.07\ Sin\,(2 \times \pi \times 20000\ t) \quad A$. المطلوب :-

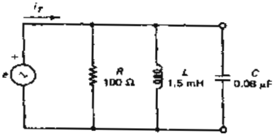
١-حساب المسايرة والممانعة الكلية للدائرة .

٢-كتابة الصيغة العامة للقيمة اللحظية للمجهد .

٣-حساب القدرة الفعالة المستهلكة في الدائرة .

٤-حساب التيار في كل فرع من فروع الدائرة .

٥-رسم المخطط الشعاعي للدائرة .



شكل (٣-٢٩)

الحل :- ١-

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{7.07}{\sqrt{2}} = 5 \quad A$$

$$\omega = 2\pi \times 20000 = 125.66 \quad \frac{K\ rad}{s}$$

$$Y_R = \frac{1}{R} = \frac{1}{100} = 0.01 \quad S$$

$$Y_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{\omega L} = \frac{1}{125.6 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^{-3}} = 0.0053 \quad S$$

$$Y_C = \frac{1}{X_C} = \omega .C = 125.6 \times 10^3 \times 0.08 \times 10^{-6} = 0.01 \quad S$$

$$Y = \sqrt{(Y_R)^2 + (Y_C - Y_L)^2} = \sqrt{(0.01)^2 + (0.01 - 0.0053)^2} = 0.01105 \quad S$$

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{0.01105} = 90.5 \quad \Omega$$

-٢

$$V_m = E_m = I_m.Z = \frac{I_m}{Y} = \frac{7.07}{0.01105} = 639.81 \quad V$$

$$I_R = V_{rms}.Y_R = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{452.5}{100} = 4.525 \quad A$$

$$Cos\ \phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{4.525}{5} = 0.905 \Rightarrow \phi = 25.17^\circ$$

$$v(t) = e(t) = 639.81\ Sin\left(125.6 \times 10^3\ t - 25.17^\circ\right) \quad V$$

-٣

$$P = V_{rms}.I_{rms}.Cos\ \phi = 452.5 \times 5 \times 0.905 = 2047.57 \quad W$$

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{(452.5)^2}{100} = 2047.57 \quad W$$

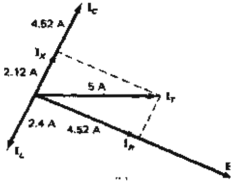
-٤

$$I_R = V_{rms}.Y_R = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{452.5}{100} = 4.525 \quad A$$

$$I_L = V_{rms}.Y_L = \frac{V_{rms}}{X_L} = 452.5 \times 0.0053 = 2.4 \quad A$$

$$I_C = V_{rms}.Y_C = \frac{V_{rms}}{X_C} = 452.5 \times 0.01 = 4.525 \quad A$$

٥- المخطط الشعاعي للدائرة مبين في الشكل (٣-٣٠) .

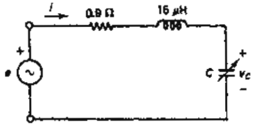


شكل (٣-٣٠)

مثال (٣-٩)

للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٣-٣١) يعطى الجهد المطبق بالعلاقة :-

$e(t) = v(t) = 0.01 \ Sin\left(2\pi \times 455 \times 10^3 \ t\right) \quad V$. المطلوب :-



شكل (٣-٣١)

١-احسب سعة المكثف اللازمة لتصبح الدائرة في حالة الرنين .

٢-احسب قيمة كلٍ من التيار الكلي والجهد على أطراف المكثف في هذه الحالة .

٣-احسب قيمة معامل الجودة للملف .

الحل :-١-

$$\omega_o = 2\pi \times 455 \times 10^3 \quad \frac{rad}{s} = \frac{1}{\sqrt{L.C}}$$

$$C = \frac{1}{\omega_o^2\ L} = \frac{1}{\left(2\pi \times 455 \times 10^3\right)^2 \times 15 \times 10^{-6}} = 8.16\ n\ F$$

٢- في حالة الرنين يكون :-

$$Z = R = 0.9 \quad \Omega$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z} = \frac{\frac{0.01}{\sqrt{2}}}{0.9} = 0.00786 = 7.86 \quad mA$$

$$V_C = I_{rms} \times X_C = I_{rms} . X_L$$

$$V_C = V_L = 7.86 \times 10^{-3} \times 2\pi \times 455 \times 10^3 \times 15 \times 10^{-6} = 0.337 \quad V$$

٣-

$$Q = \frac{\omega_o\ L}{R} = \frac{42.88}{0.9} = 47.65$$

مثال (٣-١٠)

دائرة رنين مؤلفة من مقاومة وملف ومكثف موصولة على التوازي ، التيار الكلي للدائرة في هذه الحالة يساوي $0.1\ A$ وقيم العناصر المؤلفة للدائرة تساوي :- $R = 250\ \Omega\ , L = 2\ mH\ , C = 20\ \mu\ F$. المطلوب :-

١-حساب تردد الرنين للدائرة ومعامل الجودة للملف .

٢-التيار في كل فرع من فروع الدائرة .

الحل :-

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L.C}} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-6}}} = 5000 \quad \frac{rad}{s}$$

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{5000}{6.28} = 796.2 \quad Hz$$

$$Q = \frac{R}{X_L} = \frac{R}{X_C} = \frac{R}{\omega_o . L} = \omega_o . C . R$$

$$Q = R \times \sqrt{\frac{C}{L}} = 25$$

٢- بما أن الدائرة في حالة الرنين فإن الممانعة الكلية للدائرة تساوي الممانعة الديناميكية وتساوي :-

$$Z = \frac{V}{I_0} = R = 250\ \Omega$$

$$V_{rms} = I_o.Z = 0.1 \times 250 = 25 \quad V$$

$$I_R = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{25}{250} = 0.1 \quad A$$

$$I_L = I_C = \frac{V_{rms}}{\omega_o.L} = 2.5 \quad A$$

مثال (٣-١١)

إذا كان الجهد المطبق على دائرة كهربائية يساوي $400\ V$ والتيار الكلي للدائرة يساوي $2\ A$ و يتقدم على الجهد بزاوية 60° . المطلوب حساب :-

١-القدرة الظاهرية . ٢-معامل القدرة .٣- القدرة الفعالة .٤-القدرة غير الفعالة .

الحل :-

$$S = V.I = 400 \times 2 = 800 \quad VA$$

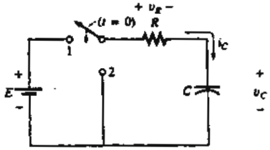
$$PF = Cos\ \phi = Cos\ 60^\circ = 0.5$$

$$P = V.I.Cos\ \phi = 800 \times 0.5 = 400 \quad W$$

$$Q = V.I.Sin\ \phi = 800 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 692.8 \quad VAR$$

شحن وتفريغ المكثفات باستخدام الجهد المستمر :-

يتم شحن المكثفات في الدوائر الكهربائية باستخدام الجهد المستمر بوصل هذه المكثفات كما هو مبين في الشكل (٣-٣٢) ،حيث تتألف هذه الدائرة من مصدر جهد مستمر يوصل من خلال المفتاح مع المقاومة (R) والمكثف (C) .



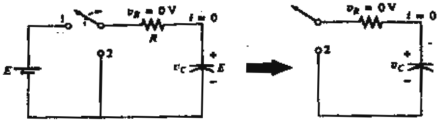
شكل (٣-٣٢)

قبل البدء في عملية شحن المكثف نأخذ بعين الاعتبار الملاحظات التالية :-

١-يغلق المفتاح عند زمن $t = 0$.

٢-المكثف غير مشحون مسبقاً ، أي أن التيار المار في الدائرة قبل إغلاق المفتاح يساوي الصفر .

عند إغلاق المفتاح سوف يبدأ التيار في السريان في الدائرة وبالتالي البدء في شحن المكثف بحيث يبدأ الجهد على طرفيه بالازدياد ويقل الجهد الهابط على طرفي المقاومة وبالتالي يقل التيار المار في الدائرة ، ويستمر التيار في السريان حتى يصبح الجهد على طرفي المكثف مساوياً لجهد المصدر E ففي هذه الحالة تتزن الدائرة ويصبح فرق الجهد على طرفي المقاومة مساوياً الصفر ، ويتوقف التيار عن السريان في الدائرة كما هو مبين في الشكل (٣-٣٣) .



شكل (٣-٣٣)

ممـا سـبق نستنتج أنه عند وصل جهد مستمر على دائرة مكونة من مقاومة ومكثف موصولين على التوالي فإن التيار عبارة عن مركبة عابرة عملها هو شحن المكثف بحيث يصبح الجهد على المكثف مساوياً جهد المصدر.

<u>معادلات الشحن للمكثف :-</u> تعطى معادلة الشحن لتيار المكثف بالعلاقة :-

$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/RC} = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$$

حيث :- i_C تيار الشحن للمكثف ويقاس بالامبير .

t زمن الشحن للمكثف ويقاس بالثانية .

E القوة الدافعة الكهربائية للمصدر وتقاس بالفولت .

R المقاومة وتقاس بالاوم .

e العدد اللوغاريتمي وهو مقدار ثابت ويساوي 2.718 .

$\tau = R.C$ الثابت الزمني لعملية الشحن والتفريغ ويقاس بالثانية .

C سعة المكثف وتقاس بالفاراد .

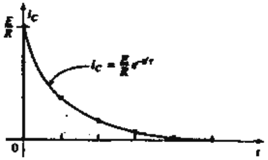
عند التعويض بعلاقة تيار الشحن للمكثف بقيم مختلفة للزمن t نحصل على علاقة تيار الشحن للمكثف مع الزمن كما هو مبين في الشكل (٣-٣٤) .

$$t = 0 \Rightarrow i_C = \frac{E}{R}$$

$$t = \tau \Rightarrow i_C = 0.368 \times \frac{E}{R}$$

$$t = \infty \Rightarrow i_C = 0$$

نلاحظ أنه كلما زاد الزمن t فإن التيار يقل بشكل سريع ويتطلب ذلك زيادة الثابت الزمني τ بزيادة كلٍ من المقاومة أو سعة المكثف أو الاثنين معاً .

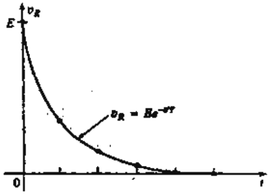


شكل (٣-٣٤)

تعطى علاقة الجهد على طرفي المقاومة بالمعادلة التالية :-

$$V_R = i_C . R = E\ e^{-t/\tau}$$

والشـــكل (٣-٣٥) يبين علاقة الجهد على طرفي المقاومة مع الزمن ، حيث يقل هذا الجهد بزيادة الزمن .

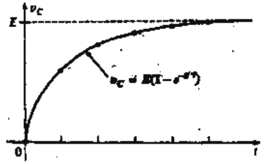


شكل (٣-٣٥)

تعطى علاقة الجهد على طرفي المكثف بالمعادلة التالية :-

$$V_C = E - V_R = E\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

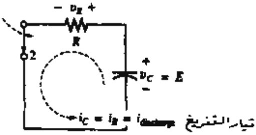
والشـــكل (٣-٣٦) يبين علاقة هذا الجهد مع الزمن ، حيث يزداد هذا الجهد بزيادة الزمن .



شكل (٣-٣٦)

تفريغ المكثف :-

من اجل تفريغ شحنة المكثف يتم فصل مصدر الجهد عن الدائرة وعمل دائرة قصر وذلك بنقل المفتاح إلى الوضع رقم (2) كما هو مبين في الشكل (٣-٣٧) .



شكل (٣-٣٧)

وفي هذه الحالة تبدأ الشحنة الموجبة للمكثف في الانتقال من الطرف الموجب للمكثف إلى الطرف السالب حتى تتعادل الشحنة بين الطرفين ، وذلك يعني مرور تيار كهربائي من الطرف الموجب للمكثف إلى الطرف السالب عبر المقاومة .وأثناء مرور هذا التيار فإنه يستهلك جزءاً من الطاقة في المقاومة وهذه الطاقة ناتجة عن الطاقة المختزنة في المجال الكهروستاتيكي للمكثف .

وتستمر الطاقة المختزنة في المكثف بالتناقص وبالتالي التيار المار من خلال المقاومة حتى تستهلك كل الطاقة المختزنة على شكل حرارة في المقاومة ويصبح جهد المكثف مساوياً الصفر . شحنة المكثف تعطى بالعلاقة :-

$$q = C.E$$

وعـــند أي زمن فإن الجهد على طرفي المكثف يساوي الجهد على طرفي المقاومة ، وبالتالي فإن نسبة الطاقة المختزنة في المكثف إلى الطاقة المستهلكة في المقاومة تعطى بالعلاقة :–

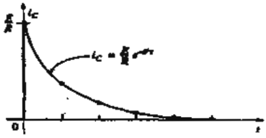
$$\frac{\frac{1}{2}CV^2}{\frac{V^2}{R}} = \frac{1}{2}RC$$

مـــن العلاقـــة الســـابقة نلاحظ أنه كلما كان الثابت الزمني كبيراً كانت الطاقة المخـــتزنة في المكـــثف اكبر بكثير من الطاقة المستهلكة في المقاومة ويتناقص الجهد وبالـــتالي التيار بشكل بطيء أما إذا كان الثابت الزمني صغيراً فإن معدل تناقص الجهد وبالتالي التيار يكون سريعاً .

<u>معـــادلات تفـــريغ شحنة المكثف :–</u> تعطى معادلة تيار التفريغ للمكثف بالمعادلة التالية :–

$$i_C = i_R = \frac{E}{R}e^{-t/\tau}$$

ويـــبين الشكل (٣–٣٨) علاقة تيار التفريغ للمكثف مع الزمن ، حيث يتناقص هذا التيار مع زيادة الزمن .

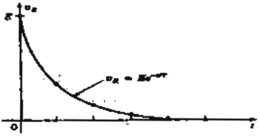


شكل (٣–٣٨)

وتعطى علاقة الجهد على طرفي المقاومة في حالة التفريغ بالمعادلة التالية :–

$$V_R = i_R.R = E\,e^{-t/\tau}$$

ويـــبين الشـــكل (٣-٣٩) علاقة الجهد على طرفي المقاومة مع الزمن حيث يقل هذا الجهد مع زيادة الزمن .

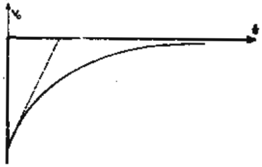


شكل (٣-٣٩)

وتعطى علاقة الجهد على طرفي المكثف في حالة التفريغ بالمعادلة التالية :-

$$V_C = -V_R = -E\ e^{-t/\tau}$$

ويبين الشكل (٣-٤٠) علاقة الجهد على طرفي المكثف مع الزمن ، واعتبر هذا الجهد ســالباً لان محصلة جهد المكثف وجهد المقاومة في الدائرة في أي لحظة تساوي الصفر حسب قانون كيرشوف للجهد .



شكل (٣-٤٠)

مثال (٣-١٢)

مكثف سعته $2\,\mu F$ يشحن بواسطة جهد مستمر $10\ KV$ من خلال مقاومة 4Ω ،

المطلوب :-

١-حساب التيار في المكثف لحظة بداية الشحن وعلى اعتبار أن المكثف غير مشحون مسبقاً .

٢–حساب الثابت الزمني للشحن .

٣–الجهد على طرفي المقاومة عند زمن شحن يساوي τ .

٤– الجهد على طرفي المكثف عند زمن شحن يساوي τ .

الحل :–

١–

$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$$

$$t = 0 \Rightarrow i_C = \frac{E}{R} = \frac{10000}{4} = 2500 \quad A$$

٢–

$$\tau = R.C = 2 \times 10^{-6} \times 4 = 8 \ \mu s$$

٣–

$$V_R = E \ e^{-t/\tau} = 10000 \times e^{-1} = \frac{10000}{2.718} = 3680 \quad V$$

٤–

$$V_C = E\left(1 - e^{-1}\right) = 10000 \times \left(1 - \frac{1}{2.718}\right) = 6320 \quad V$$

استخدام قوانين كيرشوف لتحليل دوائر التيار المتناوب :-

يمكن استخدام قوانين كيرشوف المستخدمة في تحليل دوائر التيار المستمر في تحليل دوائر التيار المتناوب بنفس الطريقة والأسلوب .

قوانين كيرشوف للجهد :-



شكل (٣-٤١)

للدائـــرة الكهربائـــية المبينة في الشكل (٣-٤١) يمكن كتابة قوانين كيرشوف للحلقة المغلقة في الدائرة على النحو التالي :-

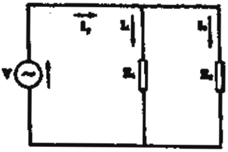
$$\vec{V} - \vec{V}_1 - \vec{V}_2 - \vec{V}_3 = 0 \Rightarrow \vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3$$

وتعطى القدرة الفعالة الكلية للدائرة الكهربائية بالعلاقة :-

$$P = V . I . Cos\, \phi_T \qquad [Watt]$$

حيث : ϕ_T زاوية فرق الطور بين الجهد الكلي والتيار الكلي للدائرة الكهربائية .

قوانين كيرشوف للتيار :-



شكل (٣-٤٢)

للدائـــرة الكهربائـــية المبينة في الشكل (٣-٤٢) يمكن كتابة قوانين كيرشوف للتيار للعقدة في الدائرة الكهربائية على النحو التالي :-

$$\bar{I}_T - \bar{I}_1 - \bar{I}_2 = 0 \Rightarrow \bar{I}_T = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$$

وكذلك يمكن كتابة قوانين كيرشوف للحلقات المغلقة في الدائرة على النحو التالي :-

$$\bar{V} - \bar{I}_1 . \bar{Z}_1 = 0 \Rightarrow \bar{V} = \bar{I}_1 . \bar{Z}_1$$

$$\bar{V} - \bar{I}_2 . \bar{Z}_2 = 0 \Rightarrow \bar{V} = \bar{I}_2 \, \bar{Z}_2$$

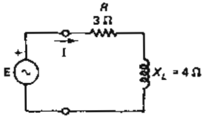
$$\bar{I}_1 . \bar{Z}_1 - \bar{I}_2 . \bar{Z}_2 = 0 \Rightarrow \bar{I}_1 . \bar{Z}_1 = \bar{I}_2 . \bar{Z}_2$$

وتعطى القدرة الفعالة الكلية للدائرة بالعلاقة :-

$$P_T = V . I_T . Cos\,\phi_T \qquad [Watt]$$

مثال (٣-١٣)

للدائـــرة الكهربائـــية المبينة في الشكل (٣-٤٣) إذا كان الجهد المطبق على الدائرة يساوي $100\,V$. المطلوب :-



شكل (٣-٤٣)

١-حساب تيار الدائرة باستخدام قوانين كيرشوف .

٢-حساب فرق الجهد على كل عنصر من عناصر الدائرة .

٣-حساب القدرة الفعالة المستهلكة في الدائرة .

الحل :-١-

$$\vec{E} - \vec{V}_R - \vec{V}_L = 0 \Rightarrow \vec{E} = \vec{V}_R + \vec{V}_L$$

$$\vec{E} = \vec{I} . \vec{Z}$$

$$Z = \sqrt{(R)^2 + (X_L)^2} = \sqrt{(3)^2 + (4)^2} = 5 \quad \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{5} = 20 \quad A$$

-٢

$$V_R = I.R = 20 \times 3 = 60 \quad V$$
$$V_L = I.X_L = 20 \times 4 = 80 \quad V$$
$$E = \sqrt{(V_R)^2 + (V_L)^2} = \sqrt{(60)^2 + (80)^2} = 100 \quad V$$

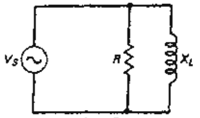
-٣

$$Cos\ \phi_T = \frac{V_R}{E} = \frac{R}{Z} = 0.6$$
$$P_T = E.I.Cos\ \phi_T = 100 \times 20 \times 0.6 = 1200 \quad W$$

مثال (٣-١٤)

للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٣-٤٤) ، إذا علمت أن :-

$$V_S = 20\ V, R = 3.33\ \Omega, X_L = 2.5\ \Omega$$



شكل (٣-٤٤)

المطلوب :- ١-حساب التيار في كل فرع من فروع الدائرة .

٢-حساب التيار الكلي للدائرة باستخدام قوانين كيرشوف .

٣-القدرة الفعالة الكلية المستهلكة في الدائرة .

الحل :-

-١

$$I_R = \frac{V_S}{R} = \frac{20}{3.33} = 6 \quad A$$

$$I_L = \frac{V_S}{X_L} = \frac{20}{2.5} = 8 \quad A$$

-٢

$$\bar{I}_T = \bar{I}_R + \bar{I}_L \Rightarrow I_T = \sqrt{(I_R)^2 + (I_L)^2} = 10 \quad A$$

-٣

$$Cos\ \phi_T = \frac{I_R}{I_T} = \frac{6}{10} = 0.6$$

$$P_T = V_S . I_T . Cos\ \phi_T = 20 \times 10 \times 0.6 = 120 \quad W$$

أسئلة

٣-١- حول الزوايا التالية من الدرجات إلى الراديان :-

أ- $30°$ ب- $40°$ ج- $60°$ د- $150°$.

٣-٢- حول الزوايا التالية من الراديان إلى الدرجات :-

أ- $1.5\ rad$ ب- $\frac{\pi}{6}\ rad$ ج- $\frac{\pi}{4}\ rad$ د- $1.7\ rad$.

٣-٣-إذا كانت القيمة اللحظية للتيار المار من خلال مقاومة قيمتها $R = 20\ \Omega$ في دائرة كهربائية تعطى بالعلاقة : $i(t) = 141.4\ Sin\left(314\ t + 30^{\circ}\right) A$ ، اكتب الصيغة العامة للقيمة اللحظية للجهد ، واحسب القيمة الفعالة للجهد والتيار والتردد وزاوية فرق الطور بين الجهد والتيار والقدرة الفعالة المستهلكة في المقاومة .

٣-٤-إذا كانت القيمة اللحظية للجهد المطبق على مقاومة قيمتها $R = 200\ \Omega$ في دائرة كهربائية تعطى بالعلاقة : $v(t) = 100\ Sin\left(628\ t - 45^{\circ}\right) V$ ، اكتب الصيغة العامة للقيمة اللحظية للتيار ، واحسب القيمة الفعالة للجهد والتيار والتردد وزاوية فرق الطور بين الجهد والتيار والقدرة الفعالة المستهلكة في المقاومة .

٣-٥-احسب قيمة الحث الذاتي للملف L إذا علمت أن $f = 50\ Hz, X_L = 50\ \Omega$.

٣-٦-احسب سعة المكثف C إذا علمت أن $f = 50\ Hz, X_C = 200\ \Omega$.

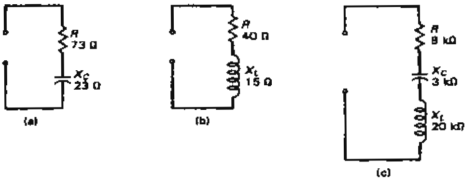
٣-٧-اكتب الصيغة العامة للقيمة اللحظية للجهد المطبق على دائرة كهربائية تحتوي على ملف إذا علمت أن : $L = 0.3\ H$, $i(t) = 1.2\ Sin\left(400\ t + 20^{\circ}\right) A$.

٣-٨-اكتب الصيغة العامة للقيمة اللحظية للتيار المار من خلال ملف موصول في دائرة كهربائية إذا علمت أن : $L = 60\ mH$, $v(t) = 14.14\ Sin\left(4000\ t\right) V$.

٣-٩-احسب المفاعلة السعوية لمكثف إذا علمت أن $C = 20\ nF$, $\omega = 1000\ \frac{rad}{s}$.

٣-١٠-احسب المفاعلة الحثية لملف إذا علمت أن $L = 20\mu\ H$, $\omega = 100\ \frac{rad}{s}$.

٣-١١- احســـب الممانعة الكلية لكل من الدوائر الكهربائية المبينة في الشكل (٣-٤٥).



شكل (٣-٤٥)

٣-١٢-احسب الممانعة الكلية لكل من الدائرتين الكهربائيتين المبينتين في الشكل (٣-٤٦).



شكل (٣-٤٦)

٣-١٣-دائرة كهربائية مؤلفة من ملف ومقاومة ومكثف موصولة على التوالي مع مصدر جهد $120\,V$ بتردد $50\,Hz$ ، إذا علمت أن :-

$$R = 1.2\ K\Omega, L = 4\ mH, C = 8\ \mu F$$

المطلوب حساب :-

١-المفاعلة الحثية للملف . ٢-المفاعلة السعوية للمكثف .

٣-الممانعة الكلية للدائرة . ٤-التيار الكلي للدائرة .

٥-فرق الجهد على كل عنصر من عناصر الدائرة .

٦-القدرة الظاهرية والقدرة الفعالة . ٧-تردد الرنين .

٨-معامل الجودة .

٣-١٤-دائـــرة كهربائية مؤلفة من ملف ومقاومة ومكثف موصولة على التوازي مع مصـدر جهد $120\ V$ بتردد $50\ Hz$ ، إذا علمت أن :-

$$R = 270\ \Omega, L = 150\ mH, C = 20\ \mu F$$

المطلوب حساب :-

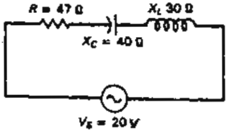
١-المفاعلة الحثية للملف .　　　　　٢-المفاعلة السعوية للمكثف .

٣-الممانعة الكلية للدائرة .　　　　　٤-التيار الكلي للدائرة .

٥-التيار المار في كل عنصر من عناصر الدائرة .

٦- تردد الرنين .　　　　　٧- معامل الجودة .

٣-١٥- للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٣-٤٧) المطلوب حساب :-



شكل (٣-٤٧)

١- الممانعة الكلية للدائرة .　　　　　٢- التيار الكلي للدائرة .

٣- فرق الجهد على كل عنصر من عناصر الدائرة .

٤-رسم المخطط الشعاعي لمثلث الجهود .

٥-القدرة الفعالة .

٦-تردد الرنين .

٧-معامل القدرة للدائرة حسب القيم المبينة على الشكل .

٨-معامل القدرة للدائرة في حالة الرنين .

الوحدة الرابعة

المغناطيسية

القطبية المغناطيسية .

الظاهرة الكهرومغناطيسية .

عناصر المجال المغناطيسي .

المواد المغناطيسية .

القوانين الخاصة بالدوائر المغناطيسية .

قانون اوم للدوائر المغناطيسية .

قانون فارادي الأول .

قانون لينــز .

قانون فارادي الثاني .

قانونا كيرشوف .

قواعد تحديد اتجاهات القوة الدافعة المغناطيسية والتيار في الدوائر المغناطيسية .

الحث الكهرومغناطيسي .

الحث الذاتي .

الحث المتبادل .

الوحدة الرابعة

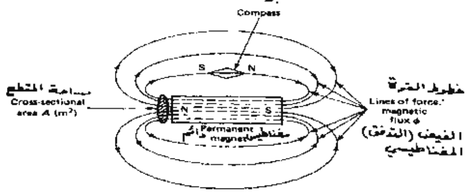
المغناطيسية (Magnetism)

مقدمة :-

المغناطيس الطبيعي هو قطعة من المواد الخام وجدت في الطبيعة لها القابلية على جذب شظايا من نفس النوع والقطع الحديدية نحوها، وسميت المواد التي تمتلك هذه الخاصية المواد المغناطيسية نسبة إلى مدينة مغنيسا. وعند تعليق قضيب مغناطيسي بشكل أفقي فإنه يتخذ الاتجاه شمال – جنوب في حال كونه حر الحركة، وقد استخدمت هذه الخاصية في صناعة البوصلة.

يمكن تعريف المغناطيسية بأنها عبارة عن قدرة ناتجة عن حركة جسم مشحون، ففي المواد المغناطيسية تكون هناك حركة إلكترونات حرة نشطة وفي اتجاهات مختلفة مما ينتج عنه قدرة مغناطيسية ، أما في المواد غير المغناطيسية فإن عدد الإلكترونات المتحركة يكون قليلاً فلا ينتج عنها قدرة مغناطيسية.

المجال المغناطيسي:- هو المنطقة المحيطة بالمغناطيس والتي تظهر فيها آثار القوة المغناطيسية بحيث إذا تم وضع بوصلة فيها أثرت عليها وغيرت اتجاهها كما هو مبين في الشكل (٤-١).



شكل (٤-١)

وإذا وضـــع مغناطـــيس دائـــم على طاولة وغطي بصفيحة رقيقة من ورق الكرتون ورش فوق الصفيحة بعض برادة الحديد، يلاحظ أن البرادة تترتب ترتيباً معيناً بـــين قطـــبي المغناطـــيس ، ويعطـــي هذا الترتيب فكرة عن المجال المغناطيسي حول المغناطيس.

أما الخصائص العامة لخطوط التدفق المغناطيسي فهي:

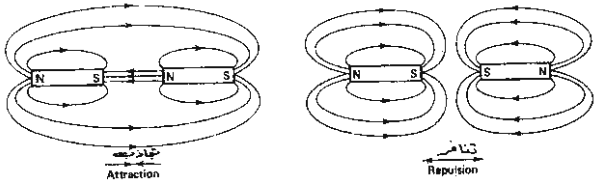
١-خطوط وهمية يشكل كل خط منها دارة مغلقة.

٢-لا يمكن أن تتقاطع.

٣-تحاول دائماً تقصير نفسها.

القطبية المغناطيسية :-

هناك نوعان من الأقطاب المغناطيسية هما القطب المغناطيسي الشمالي والقطب المغناطيســـي الجنوبي . ومن الجدير بالذكر أن الأقطاب المغناطيسية المتماثلة تتنافر وأن الأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب، كما هو مبين في الشكل (٤-٢) .



شكل (٤-٢)

الظاهرة الكهرومغناطيسية:-

هي ظهور المغناطيسية حول وداخل الناقل الذي يسري فيه تيار كهربائي.

عناصر المجال المغناطيسي:-

١- كثافة الفيض المغناطيسي (B):-

وهي عبارة عن الكثافة الكلية لجميع خطوط المجال المغناطيسي أو بمعنى آخر عبارة عن عدد خطوط القوى المغناطيسية لكل متر مربع. ووحدة قياسه هي تسلا (T) أو ويبر لكل متر مربع (Wb/m^2).

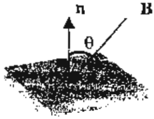
٢- الفيض المغناطيسي (Φ) :-

وهو عبارة عن عدد خطوط المجال المغناطيسي المخترقة بصورة عمودية لسطح ما، ووحدة قياسه هي الويبر Weber. ويعطى الفيض المغناطيسي بالعلاقة :-

$$\Phi = B.A.Cos\theta \qquad [Weber]$$

حيث أن:- A مساحة السطح (m^2) .

θ الزاوية المحصورة بين اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي والعمود المقام على السطح نحو الخارج . ويرمز للعمود بالرمز (n) كما هو مبين في الشكل (٤-٣) .



شكل (٤-٣)

عندما تكون خطوط الفيض المغناطيسي عمودية على السطح الذي تخترقه ($\theta = 0$) فإن الفيض المغناطيسي يعطى بالعلاقة:-

$$\Phi = B.A.Cos(0) = B.A \qquad [Weber]$$

٣–شدة المجال المغناطيسي (H):–

تعرف شدة المجال المغناطيسي في نقطة من دائرة مغناطيسية بأنها القوة (بالأمبير لفة/ متر) اللازمة للمحافظة على الفيض المغناطيسي في تلك النقطة. وتعطى بالعلاقة:–

$$H = \frac{N \times I}{L} \qquad \left[\frac{A\,T}{m}\right]$$

حيث أن :– N عدد لفات الملف (لفة) .

I التيار المار من خلال الملف (أمبير) .

L طول الملف (متر) .

٤–النفاذية المغناطيسية :–

وهي عبارة عن مقدار ثابت يتوقف على طبيعة الوسط الذي توضع فيه الأقطاب المغناطيسية. تبلغ النفاذية المغناطيسية للمواد الحديدية بضع مئات بينما تكون قيمتها صغيرة في أغلب المواد. ويعبر عن النفاذية المغناطيسية للمواد بمعاملات مختلفة هي:–

٤–١– معامل النفاذية للفراغ (μ_o)

وهو النسبة بين كثافة الفيض المغناطيسي وشدة المجال المغناطيسي في الفراغ (الهواء بدون وجود وسط) وهو مقدار ثابت ويعطى بالمقدار التالي:–

$$\mu_o = \frac{B_o}{H_o} = 4\,\pi \times 10^{-7} \qquad \left[\frac{Henry}{m}\right]$$

٤–٢– معامل النفاذية النسبية (μ_r):–

وهو النسبة بين كثافة الفيض المغناطيسي في المادة وكثافة الفيض المغناطيسي في الفراغ وليس له وحدة.

٤-٣- معامل النفاذية المطلقة (μ):-

وهـو النسبة بين كثافة الفيض المغناطيسي وشدة المجال المغناطيسي في المادة ، ويساوي حاصل ضرب معامل النفاذية للفراغ ومعامل النفاذية النسبية ويعطى بالعلاقة :-

$$\mu = \frac{B}{H} = \mu_o \times \mu_r \qquad \left[\frac{Henry}{m}\right]$$

٥-القوة الدافعة المغناطيسية ($m.m.f.$):-

وهـي عبارة عن حاصل ضرب التيار في عدد لفات الملف الذي يسري فيه التيار ووحدة قياسها (امبير لفة) وتعطى بالعلاقة :-

$$m.m.f. = N \times I \qquad [A\,T]$$

ويعرف حاصل ضرب التيار في عدد اللفات ($N.I$) بكمية الشغل الذي يجب أن يبذل لتوليد الفيض المغناطيسي وإبقائه في الدائرة المغناطيسية.

٦-المقاومة المغناطيسية (R_m):-

وتعرف بأنها المقاومة التي تبديها الدائرة المغناطيسية ضد مرور الفيض المغناطيسي في وسط ما ، ووحدة قياسها (امبير لفة/ويبر)، وتعطى بالعلاقة التالية:-

$$R_m = \frac{L}{\mu\, A} = \frac{m.m.f.}{\Phi} \qquad \left[\frac{A\,T}{Weber}\right]$$

حيث أن :- μ معامل النفاذية المطلق (هنري/ متر) .

L الطول (المسافة التي تقطعها خطوط المجال المغناطيسي (متر))

A مساحة السطح الذي تمر فيه خطوط الفيض المغناطيسي(متر مربع).

٧-تشابك الفيض (Ψ) :-

وهو عبارة عن حاصل ضرب الفيض المغناطيسي في عدد لفات الملف ووحدة قياسه (ويبر لفة) ويعطى بالعلاقة :-

$$\Psi = N \times \Phi \qquad [Weber\ .Turn]$$

المواد المغناطيسية:-

تصنف المواد من حيث خواصها المغناطيسية وخاصة من حيث النفاذية المغناطيسية إلى الأقسام الرئيسية التالية :-

١-المواد الفرومغناطيسية:-

وهي المواد التي لها خواص مغناطيسية قوية مثل الحديد والنيكل ، وتمتاز بأن لها نفاذية كبيرة تصل إلى بضع مئات أي أن قيمة معامل النفاذية النسبية (μ_r) لها كبيرة.

٢-المواد البارامغناطيسية:-

وهـي تشبه المواد الفرومغناطيسية مثل الألمنيوم ولكن النفاذية المغناطيسية لها قليلة وموجبة وقيمة معامل النفاذية النسبية (μ_r) لها أكبر من الواحد بقليل.

٣-المواد الدايامغناطيسية:-

وهـي المـواد التي تقلل من كثافة خطوط المجال المغناطيسي ، وقيمة معامل النفاذية النسبية (μ_r) لها سالبة وصغيرة وتكون اقل من الواحد.

القوانين الخاصة بالدوائر المغناطيسية :-

للتعرف على القوانين الخاصة بالدوائر المغناطيسية لجري مقارنة بين هذه الدوائر والدوائر الكهربائية . ولتسهيل الموضوع بعض الشيء نقارن في الجدول (٤-٩) بين كميات الدائرة الكهربائية وكميات الدائرة المغناطيسية ووحدات قياسها .

الدوائر الكهربائية		الدوائر المغناطيسية	
الكمية	الوحدة	الكمية	الوحدة
القوة الدافعة الكهربائية (E)	V	القوة الدافعة المغناطيسية ($m.m.f.$)	AT
التيار الكهربائي (I)	A	الفيض المغناطيسي (Φ)	Wb
كثافة التيار الكهربائي	A/m^2	كثافة الفيض المغناطيسي (B)	Wb/m^2
المقاومة الكهربائية (R)	أوم	المقاومة المغناطيسية (R_m)	AT/Wb

جدول (٤-١)

١-قانون اوم للدوائر المغناطيسية :-

بالمقارنة مع قانون اوم للدوائر الكهربائية يعطى قانون اوم للدوائر المغناطيسية بالعلاقة :-

$$m.m.f. = N\ I = \Phi \times R_m \qquad [AT]$$

وتعطى العلاقة بين كثافة الفيض المغناطيسي وشدة المجال المغناطيسي بالعلاقة :-

$$B = \mu \times H = \mu_o \mu_r \times H \qquad \left[Wb/m^2 \right]$$

٢–قانون فارادي الأول :–

يـــنص قـــانون فـــارادي الأول على أن قيمة القوة الدافعة الكهربائية المحثة في دائرة كهربائـــية مغلقـــة نتيجة تغير الفيض المغناطيـــي المتشابك مع الدائرة تـساوي متوسط معدل التغير في الفيض المخترق لها ويعبر عنها بالعلاقة:–

$$e = N \frac{d\Phi}{dt}$$

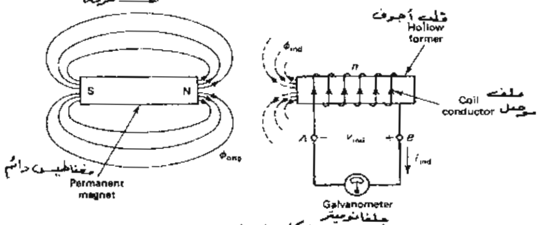
٣–قانون لينـــز:–

ينص على أن القوة الدافعة الكهربائية المحثة ($e.m.f.$) في دائرة ما نتيجة تغير الفيض تكـــون بقطبـــية بحيث تحاول توليد تيار يعاكس تغير الفيض وعليه فإن قانون فارادي يمكن أن يعطي بالعلاقة :–

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

حيث:– e القوة الدافعة الكهربائية وتقاس بالفولت .

لتوضـــيح قـــانون لينـــز نعتبر أن هنالك مغناطيســاً دائماً وملفاً كهربائياً موضوعين في نفس الوسط كما هو مبين في الشكل (٤–٤) ، ولنأخذ الحالات التالية :–



شكل (٤–٤)

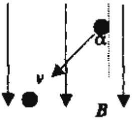
الحالــة الأولى:- إذا بقي كل من المغناطيس الدائم والملف في موضعهما (بدون حركة لأي مــنهما) بقــي الفيض المخترق للملف في هذه الحالة ثابت المقدار فلا تتولد قوة دافعة كهربائية .

الحالــة الثانية:- إذا تحرك المغناطيس الدائم نحو الملف فإن الفيض المغناطيسي المخترق لــلملف سيزداد لذا سوف تتولد قوة دافعة كهربائية في الملف تعمل على سريان تيار محتــث يعــاكس الزيادة في الفيض المغناطيسي وبالتالي سوف يتولد فيض مغناطيسي يعاكس الفيض الأصلي.

الحالة الثالثة :- إذا تحرك القضيب المغناطيسي مبتعداً عن الملف فإن الفيض المغناطيسي المخــترق للملف سوف يقل لذا سوف تتولد قوة دافعة كهربائية في الملف تعمل على ســريان تــيار محتث يعاكس النقص في الفيض المغناطيسي وبالتالي سوف يتولد فيض مغناطيسي بنفس اتجاه الفيض المغناطيسي الأصلي.

٤- قانون فارادي الثاني: -

ينص هذا القانون على إمكانية توليد قوة دافعة كهربائية (E) في موصل يتحرك ضمن مجــال مغناطيســي بحيث يتقاطع هذا الموصل مع خطوط الفيض المغناطيسي لهذا المجال ، كما هو مبين في الشكل (٤-٥) .



شكل (٤-٥)

وتعطى القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالعلاقة:-

$$E = B.v.L.Sin\,\alpha \qquad [Volt]$$

حيث :- B كثافة الفيض المغناطيسي (ويبر/متر مربع).

v سرعة الناقل (متر / ثانية).

L الطول الفعال للناقل الذي يتقاطع مع خطوط المجال المغناطيسي (متر).

α الزاوية المحصورة بين شدة المجال المغناطيسي والناقل (درجة).

في حـــال كون مجموعة من النواقل عددها (Z) تتحرك في المجال المغناطيسي فإن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في هذه النواقل تعطى بالعلاقة :-

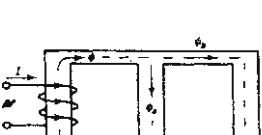
$$E = Z.B.v.L.Sin\,\alpha \qquad [Volt]$$

٥-قانونا كير شوف:-

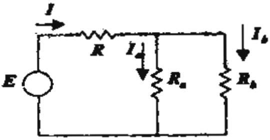
بمقارنـــة الدائرة المغناطيسـية مع الدائرة الكهربائية يمكن استنتاج قوانين كيرشوف لهذه الدوائر على النحو التالي :-

قانون كير شوف الأول:-

يـــنص قـــانون كيرشـــوف الأول على أن الفيض المغناطيسي الكلي الداخل في عقدة يســـاوي الفـــيض المغناطيســـي الكلي الخارج من هذه العقدة أي أن المجموع الجبري للفيض المغناطيسي في عقدة يساوي الصفر. كمثال لنأخذ الدائرة المغناطيسـية المبينة في الشكل (٤-٦) ونقارنها مع الدائرة الكهربائية المشابهة لها المبينة في الشكل (٤-٧) .



شكل (٤-٦)



شكل (٤-٧)

يمكن كتابة العلاقة التالية للفيض المغناطيسي الكلي للدائرة المغناطيسية :-

للدائرة الكهربائية .... $I = I_a + I_b$

للدائرة المغناطيسية .... $\Phi = \Phi_a + \Phi_b$

قانون كير شوف الثاني:-

ينص هذا القانون على أنه في أي دائرة مغناطيسية مغلقة يكون المجموع الجبري للقوة الدافعة المغناطيسية الكلية مساوياً المجموع الجبري للقوى الدافعة المغناطيسية الفرعية المتشكلة داخل هذه الحلقة (قانون كيرشوف الثاني للدائرة الكهربائية :-المجموع الجبري للقوى الدافعة الكهربائية في حلقة مغلقة يساوي المجموع الجبري لفروق الجهد على كل عنصر من عناصر الحلقة المغلقة) .

ويمكن القول إن الهدف من الحسابات في الدارة المغناطيسية هو في معظم الحالات إيجاد القوة الدافعة المغناطيسية. وعادة يتم الحساب على أساس قانون التيار الكلي (أو قانون التيار الكامل) الذي ينصّ على أن القوة الدافعة المغناطيسية تساوي مجموع حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي H في طول الجزء الذي تؤثر فيه L .

مما سبق وعلى اعتبار أن الطول الوسطي للحلقات a,b هو L_a, L_b وللحلقة الأساسية هو L_L وأن شدة المجال المغناطيسي لكل جزء هو H_a, H_b وللحلقة الأساسية هو H_L ، فإن :

$$\sum m.m.f. = \sum H.L$$

يمكن كتابة العلاقات التالية للدائرة المغناطيسية المبينة في الشكل (٤-٦) .

القوة الدافعة المغناطيسية الكلية تعطى بالعلاقة :-

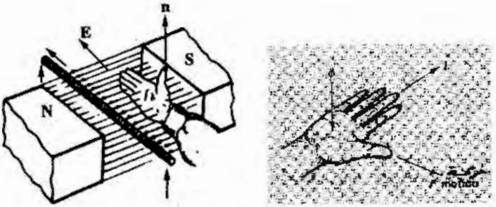
$$(m.m.f.) = N.I = H_L.L_L + H_a.L_a = H_L.L_L + H_b.L_b$$
$$0 = H_a.L_a - H_b.L_b$$

قواعد تحديد اتجاهات القوة الدافعة المغناطيسية والتيار في الدوائر المغناطيسية:-

١- قاعدة اليد اليمنى (Right hand rule):-

تستخدم لتحديد اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (E) والتيار الكهربائي (I) نتيجة حركة ناقل كهربائي في دائرة مغلقة داخل مجال مغناطيسي.

ابسط يدك اليمنى بحيث يخترق الفيض المغناطيسي راحة الكف واجعل الإبهام في وضع عامودي على الأصابع في اتجاه حركة الناقل فإن اتجاه الأصابع الباقية يبين اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والتيار كما هو مبين في الشكل (٤-٨).



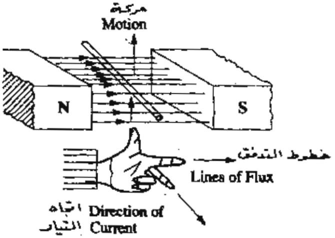
شكل (٤-٨)

n, F - تمثل اتجاه الحركة .

E, I - تمثل اتجاه التيار والقوة الدافعة الكهربائية المحتثة .

٢- قاعدة اليد اليسرى (Left hand rule) :-

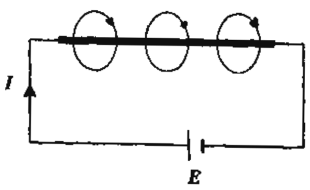
لتوضيح هذه القاعدة نستخدم ثلاثة أصابع من اليد اليسرى (الإبهام، السبابة، الوسطى) فإذا كانت السبابة تشير إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي والأصابع الوسطى تشير إلى اتجاه التيار فإن الإبهام يشير إلى اتجاه الحركة كما هو مبين في الشكل (٤-٩) : -



شكل (٤-٩)

٣- قاعدة البريمة (البرغي) (Screw rule):-

تستخدم هذه القاعدة لتحديد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي الناتجة عن مرور تيار كهربائي في موصل حيث تكون هذه الخطوط عبارة عن دوائر متحدة المركز مع مركز الناقل كما هو مبين في الشكل (٤-١٠) .



شكل (٤-١٠)

تنص هذه القاعدة على أنه:-

١-إذا كــان التــيار باتجاه إدخال البرغي فإن اتجاه المجال المغناطيسي يكون باتجاه عقارب الساعة .

٢-إذا كــان التيار باتجاه إخراج البرغي فإن اتجاه المجال المغناطيسي يكون بعكس اتجاه عقارب الساعة .

مثال (٤-١)

مجـال مغناطيسي منتظم فيه $B = 1.2\,T$ المطلوب حساب الفيض المخترق لسطح مستوٍ مساحته $2\,m^2$ في الحالات التالية:-

-١- عندما يوضع السطح بصورة عمودية على اتجاه المجال.

-٢- عندما يوضع السطح بصورة موازية للمجال.

-٣- إذا كان السطح يصنع زاوية مقدارها 60° مع اتجاه المجال.

الحل :-

١-العمود المقام على السطح نحو الخارج يوازي خطوط المجال المغناطيسي أي $\theta = 0$

$$\Phi = 1.2 \times 2\,Cos\,0 = 2.4 \quad Weber$$

٢-عندما يكون السطح موازياً لخطوط المجال المغناطيسي أي $\theta = 90^\circ$:-

$$\Phi = 1.2 \times 2\,Cos\,90^\circ = 0 \quad Weber$$

٣-العمود المقام على السطح يصنع زاوية 30° مع خطوط المجال المغناطيسي :-

$$\Phi = 1.2 \times 2\,Cos\,30^\circ = 1.2\sqrt{3} \quad Weber$$

مثال (٤-٢)

إذا كان الطول الفعال لموصل هو $30\ m$ وكان هذا الموصل يتحرك بشكل عمودي على خطوط الفيض المغناطيسي ، وكثافة الفيض المغناطيسي لهذه الخطوط هي $4.1\times10^{-5}\ \frac{Wb}{m^2}$ علماً بأن سرعة هذا الموصل هي $300\ \frac{m}{s}$. المطلوب حساب القوة الدافعة الكهربائية المحثة في هذا الموصل.

الحل :-

$$E = B.L.v.Sin\,\alpha = 4.1\times10^{-5}\times30\times300\times1 = 369 \quad mV$$

مثال (٤-٣)

محول كهربائي ذو قلب حديدي طول القلب الحديدي له $50\ cm$ ومساحة مقطعه $40\ cm^2$ وكثافة الفيض المغناطيسي $1.5\ \frac{Wb}{m^2}$ ، النفاذية النسبية للحديد السليكوني $\mu_r = 1000$. عند هذه الكثافة المطلوب حساب:-

١- الفيض المغناطيسي .

٢- المقاومة المغناطيسية .

٣- القوة الدافعة المغناطيسية .

٤- شدة المجال المغناطيسي .

الحل:

١-الفيض المغناطيسي :-

$$\Phi = B.A.Cos\theta = 1.5\times40\times10^{-4}\times1 = 6 \quad mWb$$

٢–المقاومة المغناطيسية :–

$$R_m = \frac{L}{A \times \mu}$$

$$\mu = \mu_o \times \mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 1000 = 4\pi \times 10^{-4} \quad \frac{Henry}{m}$$

$$R_m = \frac{50 \times 10^{-2}}{40 \times 10^{-4} \times 4\pi \times 10^{-4}} = 9.95 \times 10^{4} \quad \frac{AT}{Weber}$$

٣–القوة الدافعة المغناطيسية :–

$$m.m.f. = R_m \times \Phi = 597 \quad AT$$

٤–شدة المجال المغناطيسي :–

$$H = \frac{N \times I}{L} = \frac{B}{\mu} = \frac{1.5}{4\pi \times 10^{-4}} = 1193 \quad \frac{AT}{m}$$

مثال (٤–٤)

ملف يتكون من $500\ Turns$ يخترقه فيض قدره $0.4\ mWb$ ، إذا انعكس اتجاه الفيض خلال $0.01\ s$ أوجد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف.

الحل :–

$$e = N.\frac{d\Phi}{dt} = 500 \times \frac{0.4 - (-0.4)}{0.01} \times 10^{-3} = 40 \quad V$$

مثال (٤–٥)

ناقل طوله $1\ m$ يتحرك ضمن مجال مغناطيسي كثافة الفيض المغناطيسي له $1.5\ \frac{Wb}{m^2}$ بسرعة $50\ \frac{m}{s}$. أوجد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الناقل إذا كانت الزاوية بين الناقل واتجاه خطوط المجال المغناطيسي قائمة. أوجد القوة الدافعة الكهربائية إذا أصبحت الزاوية 30°.

الحل :-

$$e = B.L.v.Sin\,\alpha$$
$$e_1 = 1.5 \times 1 \times 50 \times Sin\,90^\circ = 75 \quad V$$
$$e_2 = 1.5 \times 1 \times 50 \times Sin\,30^\circ = 37.5 \quad V$$

مثال (٤-٦)

حلقة لا مغناطيسية قطرها الوسطي $44.5\ cm$ ومساحة مقطعها $12\ cm^2$ لف عليها سلك عدد لفاته $500\ Turns$ ، إذا كان التيار المار من خلال الملف يساوي $I = 1\ A$ ، المطلوب حساب:-

١- المقاومة المغناطيسية للحلقة .

٢- القوة الدافعة المغناطيسية .

٣- الفيض المغناطيسي .

٤- شدة المجال المغناطيسي .

٥- كثافة الفيض المغناطيسي .

الحل:

١-المقاومة المغناطيسية :-

الطول الوسطي للحلقة يساوي :-

$$L = d \times \pi = 44.5 \times 10^{-2} \times \pi \quad m$$

معامل النفاذية النسبية $\mu_r = 1$ لأن الحلقة لا مغناطيسية .

$$R_m = \frac{L}{\mu \times A} = \frac{44.5 \times 10^{-2} \times \pi}{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 12 \times 10^{-4}} = 92.7 \times 10^7 \quad \frac{AT}{Weber}$$

٢-القوة الدافعة المغناطيسية :-

$$m.m.f. = N \times I = 500 \times 1 = 500 \quad AT$$

٣-الفيض المغناطيسي :-

$$\Phi = \frac{m.m.f.}{R_m} = \frac{500}{92.7\times10^{7}} = 0.539\times10^{-6} \quad Wb$$

٤-شدة المجال المغناطيسي :-

$$H = \frac{N\times I}{L} = \frac{500}{44.5\times10^{-2}\times\pi} = 358 \quad \frac{AT}{m}$$

٥-كثافة الفيض المغناطيسي :-

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{0.539\times10^{-6}}{12\times10^{-4}} = 4.5\times10^{-4} \quad \frac{Wb}{m^2}$$

مثال (٤-٧)

حلقـــة معدنـــية لف عليها ملف عدد لفاته $500\ Turns$ طول الحلقة $50\ cm$ وطول الفجـــوة الهوائية $6\ mm$ ومقطعها منتظم ، إذا كان تيار الملف $I = 5\ A$ تكون كثافة الفيض في الفجوة الهوائية $0.5\frac{Wb}{m^2}$ ، المطلوب حساب:-

١- شدة المجال المغناطيسي في الفجوة الهوائية.

٢- القوة الدافعة المغناطيسية الكلية.

٣- شدة المجال المغناطيسية في الحلقة المغناطيسية.

٤- معامل النفاذية النسبية لمادة الحلقة للحصول على هذه الكثافة.

الحل:-

١-شدة المجال المغناطيسي في الفجوة الهوائية :-

$$H_a = \frac{B_a}{\mu_o\ \mu_r} = \frac{0.5}{4\pi\times10^{-7}\times1} = 0.398\times10^{6} \quad \frac{AT}{m}$$

٢-القوة الدافعة المغناطيسية الكلية تساوي :-

$$m.m.f. = N\times I = 500\times5 = 2500 \quad AT$$

وحسب قانون كيرشوف للمغناطيسية يكون :-

$$N \times I = H_a \times L_a + H_s \times L_s$$

حيث :- H_a , L_a الطول الوسطي وشدة المجال المغناطيسي للفجوة الهوائية .

H_s , L_s الطول الوسطي وشدة المجال المغناطيسي للحلقة المغناطيسية .

٣-شدة المجال المغناطيسي للحلقة H_s :-

$$H_a \times L_a = 0.398 \times 10^6 \ \frac{AT}{m} \times 6 \times 10^{-3} \ m = 2388 \quad AT$$

$$H_s = \frac{N \times I - H_a \times L_a}{L_s} = \frac{2500 - 2388}{50 \times 10^{-2}} = 224 \quad \frac{AT}{m}$$

٤-معامل النفاذية النسبية للحلقة :-

$$B = \mu_o \ \mu_r \times H_s \Rightarrow \mu_r = \frac{B}{\mu_o \times H_s} = \frac{0.5}{4\pi \times 10^{-7} \times 224} = 1776$$

مثال (٤-٨)

حلقة مكونة من ثلاثة معادن فرومغناطيسية ملفوف عليها ملف عدد لفاته 100 *Turns* والجزء الأول مصنوع من مادة النيكل بطول محيطي $0.3 \ m$ والجزء الثاني مصنوع من مادة السيليكون بطول محيطي $0.2 \ m$ والجزء الثالث مصنوع من الفولاذ بطول محيطي $0.1 \ m$ ومساحة مقطع الحلقة $0.001 \ m^2$ ، إذا علمت أن التيار المار في الملف $I = 0.454 \ A$ والفيض المغناطيسي المتولد في الحلقة يساوي $\Phi = 6 \times 10^{-4} \ Wb$.

المطلوب حساب :-

١-القوة الدافعة المغناطيسية الكلية للحلقة.

٢-شدة المجال المغناطيسي في السيليكون إذا كانت شدة المجال المغناطيسي في النيكل $10 \ \frac{AT}{m}$ وفي الفولاذ $270 \ \frac{AT}{m}$.

٣-معامل النفاذية النسبية ومعامل النفاذية المطلقة لكل جزء من أجزاء الحلقة.

٤–المقاومة المغناطيسية لكل جزء من أجزاء الحلقة .

الحل :–

١– القوة الدافعة المغناطيسية الكلية للحلقة :–

$$m.m.f. = N \times I = 100 \times 0.454 = 45.4 \quad AT$$

٢– شدة المجال المغناطيسي في السيليكون :–

$$m.m.f. = N \times I = H_1 \times L_1 + H_2 \times L_2 + H_3 \times L_3$$

$$H_2 = \frac{N \times I - H_1 \times L_1 - H_3 \times L_3}{L_2} = \frac{45.4 - 3 - 27}{0.2} = 77 \quad \frac{AT}{m}$$

كثافة الفيض المغناطيسي في الأجزاء الثلاثة للحلقة متساوية لأن الفيض المغناطيسي ومساحة مقطع الحلقة منتظمان في هذه الأجزاء .أي أن :–

$$B_1 = B_2 = B_3 = \frac{\Phi}{A} = \frac{6 \times 10^{-4}\ Wb}{0.001\ m^2} = 0.6 \quad \frac{Wb}{m^2}$$

٣–معامل النفاذية المطلق لأجزاء الحلقة :–

$$\mu_1 = \frac{B_1}{H_1} = \frac{0.6}{10} = 0.06 \quad \frac{Henry}{m}$$

$$\mu_2 = \frac{B_2}{H_2} = \frac{0.6}{77} = 0.00778 \quad \frac{Henry}{m}$$

$$\mu_3 = \frac{B_3}{H_3} = \frac{0.6}{270} = 0.00222 \quad \frac{Henry}{m}$$

معامل النفاذية النسبية لأجزاء الحلقة :–

$$\mu_{r1} = \frac{\mu_3}{\mu_o} = \frac{0.06}{4\pi \times 10^{-7}} = 47746$$

$$\mu_{r2} = \frac{\mu_2}{\mu_o} = \frac{0.00778}{4\pi \times 10^{-7}} = 6199$$

$$\mu_{r3} = \frac{\mu_3}{\mu_o} = \frac{0.00222}{4\pi \times 10^{-7}} = 1766.6$$

مثال (٤-٩)

ملف مربع الشكل طول ضلعه $10\ cm$ وعدد لفاته $100\ Turns$ يدور بسرعة $500\ \frac{m}{s}$ حول محور قائم الزاوية ، إذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي $0.5\ \frac{Wb}{m^2}$

المطلوب حساب القوة الدافعة الكهربائية المحثة في الملف في الحالات التالية :-

١-عندما يكون محور الملف متعامداً مع خطوط المجال المغناطيسي .

٢-عندما يكون محور الملف موازياً لخطوط المجال المغناطيسي .

٣-عندما يصنع محور الملف زاوية مقدارها 45° مع خطوط المجال المغناطيسي .

الحل :-

١-عندما يكون محور الملف متعامداً مع خطوط المجال المغناطيسي ، أي أن الملف يصنع زاوية مقدارها $\alpha = 0^\circ$ مع خطوط المجال المغناطيسي :-

$$E = B.L.v.Sin\,\alpha = 0.5 \times 10 \times 10^{-2} \times 500 \times 0 = 0$$

٢-عندما يكون محور الملف موازياً لخطوط المجال المغناطيسي ، أي أن $\alpha = 90^\circ$:-

$$E = B.L.v.Sin\,\alpha = 0.5 \times 10 \times 10^{-2} \times 500 \times 1 = 25 \quad V$$

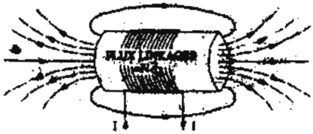
٣-عندما يصنع محور الملف زاوية مقدارها 45° مع خطوط المجال المغناطيسي :-

$$E = B.L.v.Sin\,\alpha = 0.5 \times 10 \times 10^{-2} \times 500 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 17.678 \quad V$$

الحث الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Induction):-

الحث الكهرومغناطيسي هو تأثير متبادل بين المغناطيسية والكهرباء.

إن مـــرور التـــيار الكهربائي في ملف يؤدي إلى وجود مجال مغناطيسي حول الملف ، ويـــزداد كثافة هذا المجال بازدياد معدل مرور الشحنة الكهربائية $\frac{dq}{dt}$ وبازدياد عدد لفات الملف،كما هو مبين في الشكل (٤-١١) .



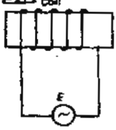
شكل (٤-١١)

وفي حال قطع مجال مغناطيسي دائرة كهربائية مغلقة يوجد فيها ملف كهربائي، يتولد في هـــذا الملـــف تيار تأثيري تعتمد شدته على كل من معدل تغير قطع خطوط المجال المغناطيسي وعلى مقاومة الدائرة.

الحث الذاتي (Self Inductance):-

إذا تغـــير التيار الذي يمر في ملف ما فإنه تتولد قوة دافعة كهربائية حثية في ذلك الملف وهو ما يسمى الحث الذاتي للملف ويرمز له بالرمز (L) ويقاس بالهنري.

الشكل (٤-١٢) يبين ملفاً مكوناً من عدد من اللفات المتراصة عددها N .



L

شكل (٤-١٢)

وبالتالي فإن الفيض المغناطيسي Φ يكون متساوياً في كل لفة ، وقيمة التيار المار من خلال الملف تساوي i ، ويكون الفيض الكلي المتشابك في الملف يساوي $\Psi = N.\Phi$ والقـوة الدافعة الكهربائية المحثة بين طرفي الملف حسب قانوني فارادي ولنـز تعطى بالعلاقة:-

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

وإذا فرضنا عدم وجود مواد مغناطيسية قريبة من الملف فإن تشابك الفيض المغناطيسي يتناسب تناسباً طرد يا مع شدة التيار أي أن :-

$$i \propto N.\Phi \Rightarrow i\,L = N.\Phi$$

حيث L هو ثابت التناسب ، ويسمى معامل الحث الذاتي للملف ويمكن كتابة المعادلة السابقة بالشكل التالي :-

$$e = -N \frac{d(L\,i)}{N.dt} = -L \frac{di}{dt}$$

وبالتالي فإن معامل الحث الذاتي للملف يعطى بالعلاقة :-

$$L = -\frac{e}{di/dt} = \frac{N.\Phi}{i} = \frac{N^2 \mu_0 A}{L} \quad [H]$$

مثال (٤-١٠) :-

إذا كان الفيض المغناطيسي للملف يتغير حسب العلاقة التالية :-

$\Phi(t) = 8t^2 + 5t + 7$ ، اكتب العلاقة التي تصف تغير القوة الدافعة الكهربائية المستحثة خلال الملف الكهربائي إذا كان عدد لفات هذا الملف يساوي **50 Turns** .

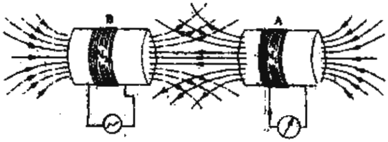
الحل :-

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -50 \frac{d}{dt}\left(8t^2 + 5t + 7\right)$$

$$e = -50\,(16t + 5) = -800\,t - 250$$

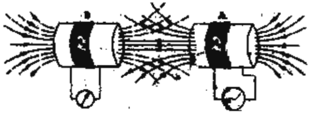
الحث المتبادل (Mutual Inductance):-

تتشابك خطوط المجال المغناطيسي الناشئة من دائرة ما مع دائرة أخرى تشابكا كلياً أو جزئياً حسب مدى تقارب هاتين الدائرتين كما هو مبين في الشكل (٤-١٣):-



شكل (٤-١٣)

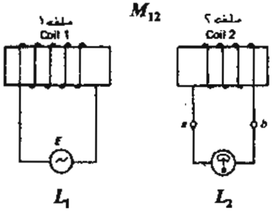
حيث أن الملفين بجوار بعضهما في وسط عامل النفاذية له μ حيث يتشابك جزء من خطوط المجال المغناطيسي للملف الأول (A) مع الملف الثاني (B). وأي تغير في كثافة المجال المغناطيسي للملف الثاني تصحبه قوة دافعة كهربائية مستحثة في الملف الأول يكون من جرائها انحراف جهاز القياس . وفي حال عكسنا الوضع ومررنا في الملف الأول تياراً ووصلنا جهاز قياس بين طرفي الملف الثاني، فإن مؤشر هذا الجهاز سوف ينحرف عند أي تغير في شدة التيار المار من خلال الملف الأول ، كما هو مبين في الشكل (٤-١٤).



شكل (٤-١٤)

أي أن هناك حثا متبادلاً بين الملفين عن طريق كثافة المجال المغناطيسي المشترك بينهما. لتحديد الحث المتبادل بين الملفين كما هو مبين في الشكل (٤-١٥)،

M_{12}



شكل (٤-١٥)

تعتـــبر أن I_1 هو تيار الملف الأول والفيض المغناطيسي الناتج عنه هو Φ_1 وجزء من هذا الفيض سوف يتشابك مع الملف الثاني Φ_{12} حيث :-

$$\Phi_{12} = K\ \Phi_1$$

حيـــث أن (K) معامل الاقتران بين الملفين وهو يعتمد على مدى التقارب بين الملفين وعـــلى معامل النفاذية المطلقة للوسط الذي توجد فيه تلك الملفات. وأكبر قيمة له هي الواحد الصحيح عندما يتشابك كل الفيض الناتج عن الملف الأول مع الملف الثاني.

ويعـــرف معامل الحث المتبادل بين ملفين بأنه النسبة بين تشابك الفيض المغناطيســي في الملف الثاني مع التيار المنتج من الملف الأول ويعطى بالعلاقة :-

$$M_{12} = \frac{N_2\ \Phi_1}{I_1}$$

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الملف الثاني تعطى بالعلاقة :-

$$e_2 = -M_{12}\ \frac{di_1}{dt}$$

وعند تغذية الملف الثاني تعطى العلاقات بالشكل التالي :-

$$M_{21} = \frac{N_1\ \Phi_2}{I_2}$$

$$e_1 = -M_{21}\ \frac{di_2}{dt}$$

ويتم استنتاج قيمة معامل الحث المتبادل بين ملفين من العلاقات التالية :-

$$\Phi_1 N_1 = L_1 I_1$$
$$\Phi_1 N_2 = M_{12} I_1$$

$$\Phi_2 N_2 = L_2 I_2$$
$$\Phi_2 N_1 = M_{21} I_2$$

بقسمة المعادلات السابقة نحصل على :-

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{L_1}{M_{12}} = \frac{M_{21}}{L_2} \Rightarrow L_1 L_2 = M_{21} M_{12}$$

ولكن : $M_{12} = M_{21} = M$ وبالتالي فإن معامل الحث المتبادل للملفين يساوي :

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

حيث :-

M_{12} – معامل الحث المتبادل بين الملفين الأول والثاني.

M_{21} – معامل الحث المتبادل بين الملفين الثاني والأول.

M – معامل الحث المتبادل بين الملفين.

L_1 – معامل الحث الذاتي للملف الأول.

L_1 – معامل الحث الذاتي للملف الثاني.

Φ – الفيض المغناطيسي.

e_1 – القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الملف الأول.

e_2 – القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الملف الثاني.

N_1 – عدد لفات الملف الأول.

N_2 – عدد لفات الملف الثاني.

k – معـــامل الاقتران ، ويعتمد على طبيعة الوسط الذي يوجد فيه الملفان وعلى المسافة بينهما .

مثال (٤-١١)

ملفـــان معـــامل الحـــث الذاتي لكلٍ منهما يساوي $L_1 = 100\ mH, L_2 = 400\ mH$ احســـب الحث المتبادل بينهما إذا كان معامل الاقتران $K = 1$. واحسب عدد لفات الملف الثاني إذا كان عدد لفات الملف الأول يساوي $1000\ Turns$.

الحل :-

$$M = k\sqrt{L_1 . L_2} = 1 \times \sqrt{100 \times 10^{-3} \times 400 \times 10^{-3}} = 0.2 \quad H$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{L_1}{M} = \frac{M}{L_2} \Rightarrow N_2 = \frac{N_1 \times M}{L_1} = \frac{N_1 \times L_2}{M}$$

$$N_2 = \frac{1000 \times 0.2}{100 \times 10^{-3}} = 2000 \quad Turns$$

القوة المؤثرة على موصل حامل للتيار ضمن مجال مغناطيسي:-

تعطـــى القوة الكهروديناميكية "F" المؤثرة على موصل موجود ضمن مجال مغناطيسي بالعلاقة التالية:-

$$F = B . L . I . Sin\,\alpha$$

حيث أن:- F - القوة الكهروديناميكية (نيوتن).

B - كثافة الفيض المغناطيسي (ويبر / متر مربع).

L - طول الناقل (متر) .

I - التيار الذي يسري في الموصل (أمبير).

α - الزاوية المحصورة بين الموصل وخطوط المجال المغناطيسي.

مثال (٤-١٢)

موصل كهربائي طوله $20\ cm$ موجود ضمن مجال مغناطيسي كثافة الفيض المغناطيسي لـه $0.25\frac{Wb}{m^2}$. المطلوب حساب الزاوية التي يصنعها الموصل مع خطوط المجال المغناطيسي إذا كان التيار المار في الموصل $0.4\ A$ والقوة الكهروديناميكية المؤثرة على الموصل تساوي 0.01 نيوتن .

الحل :-

$$F = B.L.I.Sin\alpha$$

$$Sin\ \alpha = \frac{F}{B.L.I} = \frac{0.01}{0.25 \times 20 \times 10^{-2} \times 0.4} = 0.5$$

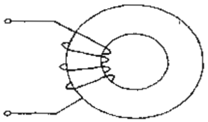
$$\alpha = Sin^{-1}(0.5) = 30^{\circ}$$

أسئلة

٤-١- احسب الحث الذاتي لملف ذي قلب هوائي عدد لفاته $100\ Turns$ طوله الفعال يساوي $20\ cm$ ومساحة مقطعه تساوي $2\times10^{-3}\ m^2$.

٤-٢- احسب عدد لفات ملف حثه الذاتي يساوي $1\ mH$ ،إذا كان الملف ذا قلب هوائي وطوله يساوي $200\ cm$ ومساحة مقطعه تساوي $2\times10^{-4}\ m^2$.

٤-٣- احسب الحث الذاتي للملف المبين في الشكل (٤-١٦) ،إذا كان عدد لفاته $200\ Turns$ ، علماً بأن الملف ذو قلب معدني معامل النفاذية النسبية له يساوي $\mu_r = 400$ ، والطول الفعال للملف يساوي $50\ cm$ ومساحة مقطعه تساوي $25\ cm^2$.



شكل (٤-١٦)

٤-٤- ملف عدد لفاته يساوي $50\ Turns$ يمر من خلاله تيار $2\ A$. المطلوب :-

١-حساب القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة في الملف .

٢-حساب المقاومة المغناطيسية اللازمة لإنتاج فيض مغناطيسي يساوي $250\ mWb$.

٤-٥- حلقة مغناطيسية طولها الوسطي $0.16\ m$ ومساحة مقطعها منتظم وتساوي $2\times10^{-3}\ m^2$ ، لف عليها ملف عدد لفاته يساوي $400\ Turns$.

المطلوب حساب :-

١-التيار اللازم لإنتاج فيض مغناطيسي $4\times10^{4}\ Wb$ وشدة مجال مغناطيسي $170\ \frac{AT}{m}$.

٢–معامل النفاذية المطلقة ومعامل النفاذية النسبية للمادة المصنوعة منها الحلقة .

٤–٦– احسب الفيض المغناطيسي لحلقة مغناطيسية مستطيلة الشكل طولها الوسطي $0.3\ m$ ومساحة مقطعها $2 \times 10^{-4}\ m^2$ يلف عليها ملف عدد لفاته $60\ Turns$ ويمر فيه تيار $5\ A$ ، إذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في هذه الحلقة تساوي $0.39\ \frac{Wb}{m^2}$.

٤–٧– حلقة مغناطيسية تتولد فيها قوة دافعة مغناطيسية $200\ AT$ ، إذا كان الطول الوسطي للحلقة يساوي $0.4\ m$ ومعامل النفاذية المطلقة لها يساوي $6 \times 10^{-4}\ \frac{Henry}{m}$ احسب كثافة الفيض المغناطيسي المتشكل في هذه الحلقة .

٤–٨– حلقة مغناطيسية يلف عليها ملف عدد لفاته يساوي $50\ Turns$ ، يمر من خلال هذا الملف تيار $4\ A$. المطلوب حساب الفيض المغناطيسي المتشكل في هذه الحلقة إذا كانت المقاومة المغناطيسية لهذه الحلقة تساوي $0.28 \times 10^5\ \frac{AT}{Wb}$.

٤–٩– حلقة مغناطيسية مستطيلة الشكل طولها الوسطي $40\ cm$ ، تحتوي على ثغرة هوائية طولها $0.2\ cm$ ومساحة مقطع الحلقة يساوي $2.5\ cm^2$. المطلوب حساب قيمة التيار اللازم لإنتاج كثافة فيض مغناطيسي $0.1\ \frac{Wb}{m^2}$ في الثغرة الهوائية ،إذا علمت أن عدد لفات الملف يساوي $50\ Turns$ ومعامل النفاذية النسبية للحلقة المعدنية يساوي 200 .

٤–١٠– حلقة مغناطيسية مستطيلة الشكل طولها الوسطي $100 \times 10^{-3}\ m$ ، تحتوي على ثغرة هوائية طولها $2 \times 10^{-3}\ m$ ومساحة مقطع الحلقة يساوي $1.5 \times 10^{-4}\ m^2$. يلف عليها ملف عدد لفاته $200\ Turns$ ، الفيض المغناطيسي في هذه الحلقة يساوي $0.75 \times 10^{-4}\ Wb$ ، المطلوب حساب قيمة التيار المار من خلال الملف إذا كانت شدة المجال المغناطيسي تساوي $280\ \frac{AT}{m}$.

الوحدة الخامسة

المحولات الكهربائية

تركيب المحول .

المحولات أحادية الطور.

مميزات المحول المثالي .

قدرة المحول أحادي الطور.

المحولات ثلاثية الأطوار .

التوصيلة النجمية .

التوصيلة المثلثة .

توصيل نجمي– نجمي .

توصيل مثلثي – مثلثي .

توصيل مثلثي – نجمي .

توصيل نجمي – مثلثي .

القدرة في المحولات ثلاثية الأطوار .

المحول الذاتي .

مقارنة بين المحول الذاتي والمحول الكهربائي العادي .

محولات العزل .

محولات القياس .

محولات قياس الجهد .

محولات قياس شدة التيار .

المحولات الكهربائية (Electric Transformers)

المحول هو جهاز مغناطيسي كهربائي استاتيكي (ساكن بدون أجزاء دوارة) يتحول في تسيار متردد ذو جهد معين إلى تيار متردد بنفس قيمة التردد السابقة (f) ولكن بجهد مختلف، ويعتبر المحول ذا كفاءة عالية نظراً لقلة الضياعات المستهلكة فيه.

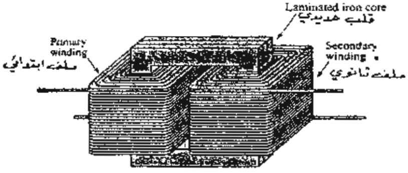
تركيب المحول:-

يتألف المحول الكهربائي كما هو مبين في الشكل (٥-١) من الأجزاء الرئيسية التالية:-

١- القلب الحديدي:- ويتكون من شرائح من الحديد المطاوع معزولة عن بعضها البعض بمادة عازلة ، وذلك من أجل تقليل الضياعات الحديدية الناتجة عن التيارات الإعصارية المتولدة في القلب الحديدي.

٢- الملفات :- تصنع من مادة نحاسية معزولة ويكون كل ملف مستقلاً عن الملفات الأخرى ومفصولاً كهربائياً عن باقي الملفات،وتقسم هذه الملفات إلى نوعين:

- الملفات الابتدائية :- وتوصل مع منبع التغذية (المصدر).
- الملفات الثانوية :- وتوصل مع الحمل.



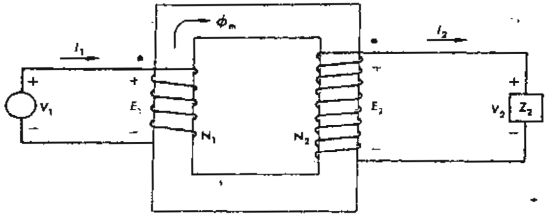
شكل (٥-١)

تقسم المحولات إلى قسمين أساسيين من حيث عدد الخطوط :-

أ- محولات أحادية الطور (Single Phase Transformers) .

ب-محولات ثلاثية الأطوار (Three Phase Transformers) .

أ- المحولات أحادية الطور وهي المحولات التي تتم تغذيتها من مصدر جهد أحادي الطور، كما هو مبين في الشكل (٥-٢) .



شكل (٥-٢)

مبدأ العمل:-

عندما يتم تطبيق جهد كهربائي جيبي متردد على الملف الابتدائي الموصول مع المنبع فإن ذلك سوف يؤدي إلى سريان تيار متناوب I_1 في هذا الملف مما يؤدي إلى إنتاج فيض متناوب في القلب الحديدي ونتيجة لذلك سوف يتشابك هذا الفيض مع كل من الملفين الابتدائي والثانوي وبالتالي سوف تتولد قوتان دافعتان كهربائيتان تعتمد قيمة كلٍ منهما على عدد لفات كل ملف ، وتعطى القوى الدافعة الكهربائية المتولدة بالعلاقة :

$$E_1 = \frac{E_{1max}}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 \times \Phi_{max} \times \omega}{\sqrt{2}} = 4.44 \times f \times N_1 \times \Phi_{max} \qquad [V]$$

$$E_2 = \frac{E_{2max}}{\sqrt{2}} = \frac{N_2 \times \Phi_{max} \times \omega}{\sqrt{2}} = 4.44 \times f \times N_2 \times \Phi_{max} \qquad [V]$$

في حـــال وصل حمل بين طرفي الملف الثانوي للمحول فإنه سوف يسري تيار I_2 في هذا الحمل.

تعرف النسبة بين جهد الملف الابتدائي وجهد الملف الثانوي بنسبة التحويل للمحول (Transformation Factor) ويرمـــز لهـــا بالرمز K ، وليس لها وحدة وإذا كانت نســـبة الـــتحويل أكبر من الواحد فإن المحول يكون خافضاً للجهد أما إذا كانت هذه النسبة أقل من الواحد فإن المحول يكون رافعاً للجهد.

وعلى اعتبار أن المحول مثالي فإن نسبة التحويل تعطى بالعلاقة التالية :-

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

حيث :-

I_1 تيار الملف الابتدائي (أمبير).

I_2 تيار الملف الثانوي (أمبير).

E_1 القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف الابتدائي (فولت).

E_2 القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف الثانوي (فولت).

Φ_{max} الفيض الأعظمي (ويبر) .

N_1 عدد لفات الملف الابتدائي (لفة).

N_2 عدد لفات الملف الثانوي (لفة).

V_1 الجهد على أطراف المنبع (فولت) .

V_2 الجهد على أطراف الحمل (فولت) .

f تردد المنبع (هيرتز) .

مميزات المحول المثالي:-

١-انعدام الضياعات الكهربائية ، أي أن مقاومات الملفات مهملة.

٢-انعدام الضياعات الحديدية في القلب المغناطيسي.

٣-انعدام المقاومة المغناطيسية ، أي أن سماحية القلب المغناطيسية كبيرة.

٤-انعدام التسرب المغناطيسي ، أي أن الفيض المغناطيسي الكلي الناتج في الملفات يكمل مساره عبر القلب الحديدي ويتشابك كلياً مع كلا الملفين.

٥-انعدام هبوط الجهد في الملفات ، أي أن كلاً من X_L , R للملفات مهملة .

قدرة المحول الكهربائي أحادي الطور:-

تعطى القدرة للمحولات بالقدرة الظاهرية الاسمية S_n التي تعطى بالعلاقة:-

$$S_n = I_{1n} \times V_{1n} = I_{2n} \times V_{2n} \qquad [V.A]$$

$$P_n = S_n \times Cos\,\phi_n \qquad [Watt]$$

$$Q_n = S_n \times Sin\,\phi_n \qquad [V.A.R]$$

حيث أن القيم السابقة تمثل القيم الاسمية للمحول. وتعني القيم الاسمية تلك القيم التي إذا تم تشغيل المحول بها طيلة عمره التشغيلي فإن درجة حرارته لن ترتفع أكثر مما هو مسموح به .

مثال (٥-١)

محول أحادي الطور قدرته $200\ KVA$ ونسبة التحويل له $K = \frac{6600\ V}{400\ V}$ وعدد لفات ملفه الثانوي يساوي $N_2 = 80\ T$ وتردد المصدر يساوي $f = 50Hz$.

المطلوب حساب :-

١- تيار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي .

٢- عدد لفات الملف الابتدائي .

٣- الفيض الأعظمي .

الحل :-

-١

$$I_1 = \frac{S}{V_1} = \frac{200\times10^3}{6600} = 30.3 \quad A$$

$$I_2 = \frac{S}{V_2} = \frac{200\times10^3}{400} = 500 \quad A$$

-٢

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow N_1 = N_2\,\frac{V_1}{V_2} = 80\times\frac{6600}{400} = 1320 \quad Turns$$

-٣

$$E_2 = 4.44\times f\times N_2\times\Phi_{max} \Rightarrow \Phi_{max} = \frac{E_2}{4.44\times f\times N_2} =$$

$$\Phi_{max} = \frac{400}{4.44\times50\times80} = 22.5 \quad mWb$$

مثال (٥-٢)

محول أحادي الطور مساحة مقطع نواته المغناطيسية ثابتة وتساوي $A = 10\ cm^2$ وعدد لفات ملفه الابتدائي $N_1 = 836\ T$ وعدد لفات ملفه الثانوي $N_2 = 182\ T$ ، فإذا كان الفيض المغناطيسي في نواة المحول ذا شكل جيبي ويعطى بالعلاقة :

$\Phi = \Phi_{max}\ Sin\,\omega t$ و $B_{max} = 1.19\ \frac{Wb}{m^2}$ و $\omega = 314\ \frac{rad}{sec}$. المطلوب إيجاد معادلة القوة الكهربائية المحثة في كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي للمحول.

الحل :-

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -N_1 \frac{d(\Phi_{max} \, Sin\,\omega t)}{dt} = -N_1 \, \omega \, \Phi_{max} \, Cos\,\omega t$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \frac{d(\Phi_{max} \, Sin\,\omega t)}{dt} = -N_2 \, \omega \, \Phi_{max} \, Cos\,\omega t$$

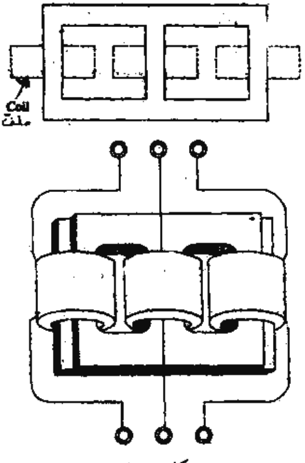
$$\Phi_{max} = B_{max} \times A = 1.19 \times 10 \times 10^{-4} = 11.9 \times 10^{-4} \quad Wb$$

$$e_1 = -N_1 \, \omega \, \Phi_{max} \, Cos\,\omega t = -836 \times 11.9 \times 10^{-4} \times 314 \times Cos(314t)$$
$$e_1 = -312.4 \, Cos\,(314t) \qquad [V]$$

$$e_2 = -N_2 \, \omega \, \Phi_{max} \, Cos\,\omega t = -182 \times 11.9 \times 10^{-4} \times 314 \times Cos(314t)$$
$$e_2 = -68 \, Cos(314t) \qquad [V]$$

ب--المحولات ثلاثية الأطوار (Three Phase Transformers) :-

يمكن القيام بتحويل الجهود والتيارات في الدوائر الكهربائية ثلاثية الطور إما بمساعدة محــولات أحادية الطور أو باستخدام محول ثلاثي الأطوار مكافئ بالاستطاعة،كما هو مبين في الشكل (٥-٣) .

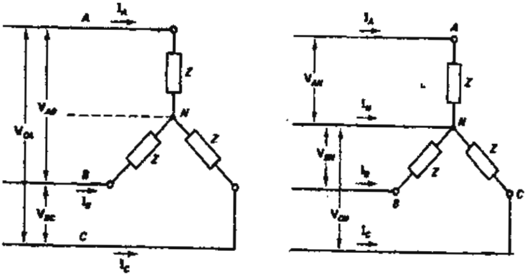


شكل (٥-٣)

عــند استخدام محولات أحادية الطور وتطبيق جهود ثلاثية الأطوار فإن كل طور من الأطــوار الثلاثة يكون مزاحاً عن الطور السابق بزاوية مقدارها °120 ، ويشكل كل طــور فيضــاً مغناطيــياً بحيث يكون المجموع الشعاعي للفيض المغناطيسي الناتج عن الأطوار الثلاثة مساوياً الصفر في كل لحظة من الزمن.

ويمكن توصيل الأطوار الثلاثة مع بعضها البعض باحدى طريقتين :-

أ-التوصيلة النجمية (Star):- ويرمز لها بالرمز (Y) ، ويتم في هذه الطريقة قصر نهايات أطوار الملفات في نقطة واحدة تدعى نقطة الحياد (Neutral) ويرمز لها بالرمز (N) ،كما هو مبين في الشكل (٥-٤) .



شكل (٥-٤)

و الجهود والتيارات الخاصة بهذه التوصيلة ترتبط بينها العلاقات التالية :-

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_L \qquad [Volt]$$
$$V_{AN} = V_{BN} = V_{CN} = V_{ph} \qquad [Volt]$$
$$V_L = \sqrt{3}\ V_{ph} \qquad [Volt]$$
$$I_A = I_B = I_C = I_L = I_{ph} \qquad [A]$$

حيث :- $V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}, V_L$ تمثل جهد الخط (Line Voltage) .

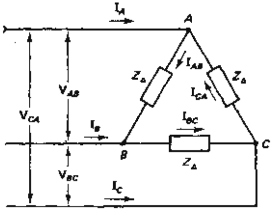
$V_{AN}, V_{BN}, V_{CN}, V_{ph}$ تمثل جهد الطور (Phase Voltage) .

I_A, I_B, I_C, I_L تمثل تيار الخط (Line Current) .

I_A, I_B, I_C, I_{ph} تمثل تيار الطور (Phase Current) .

ب–التوصيلة المثلثة (Delta):–

ويرمز لها بالرمز (Δ) ، ويتم في هذه الطريقة وصل نهاية كل طور مع بداية الطور الذي يليه ،كما هو مبين في الشكل (٥–٥) .



شكل (٥–٥)

و الجهود والتيارات الخاصة بهذه التوصيلة تربط بينها العلاقات التالية :–

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{ph} \qquad [Volt]$$
$$V_L = \quad V_{ph} \qquad [Volt]$$
$$I_A = I_B = I_C = I_L \qquad [A]$$
$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_{ph} \qquad [A]$$
$$I_L = \sqrt{3}\ I_{ph} \qquad [A]$$

حيث :– $V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}, V_L$ تمثل جهد الخط (Line Voltage) ، الذي يساوي جهد الطور (Phase Voltage) .

I_A, I_B, I_C, I_L تمثل تيار الخط (Line Current) .

$I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}, I_{ph}$ تمثل تيار الطور (Phase Current) .

وتعطى نسبة التحويل في المحولات ثلاثية الأطوار بالعلاقة التالية :–

$$K = \frac{N_{1ph}}{N_{2ph}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}}$$

حيث :-

N_{1ph}, N_{2ph} عدد اللفات للملف الابتدائي وللملف الثانوي للطور الواحد.

V_{1ph}, V_{2ph} جهد الطور للملف الابتدائي وجهد الطور للملف الثانوي.

I_{1ph}, I_{2ph} تيار الطور للملف الابتدائي وتيار الطور للملف الثانوي.

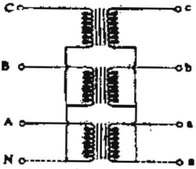
طرق توصيل الملفات في المحولات ثلاثية الأطوار :-

كما هو واضح الآن من الشرح السابق لطرق التوصيل في الدوائر ثلاثية الأطوار فإنه يمكن وصل كلا الملفين للمحول (الابتدائي والثانوي) بإحدى الطريقتين السابقتين (توصيلة المثلث أو توصيلة النجمة) ، وبالتالي فانه في المحولات ثلاثية الأطوار توجد أربع حالات للتوصيل هي :-

١- توصيل نجمي- نجمي (Y / Y) :-

في هـذه الطريقة تقصر نهايات أطوار الملفات الابتدائية في نقطة واحدة N هي نقطة الحياد وتوصل البدايات مع منبع التغذية ثلاثي الأطوار. كذلك تقصر نهايات أطوار الملفات الثانوية في نقطة مشتركة n هي نقطة الحياد للملفات الثانوية وتوصل بدايات الملفات مع الحمل.

يرمز لبدايات الملفات الابتدائية بالأحرف الكبيرة A,B,C ولبدايات الملفات الثانوية بالأحرف الصغيرة a,b,c ، كما هو مبين في الشكل (٥-٦) .



طريقة التوصيل (Y / Y)


الملف الابتدائي (Y)


الملف الثانوي (Y)

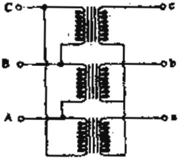
شكل (٥-٦)

نسبة التحويل في المحولات ثلاثية الأطوار هي نسبة عدد لفات أحد أطوار الملف الابتدائي إلى عدد لفات أحد أطوار الملف الثانوي. وفي هذه الحالة تعطى بالعلاقة :-

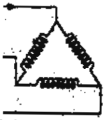
$$K = \frac{N_{1ph}}{N_{2ph}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = \frac{V_{1L}/\sqrt{3}}{V_{2L}/\sqrt{3}} = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}}$$

٢- توصيل مثلثي – مثلثي (Δ / Δ):-

يتم في هذه الطريقة وصل نهاية كل ملف مع بداية الملف الذي يليه ونتيجة لذلك يتم الحصول في كل من طرفي المحول على مثلث مغلق مكون من ملفات الأطوار الثلاثة ،كما هو مبين في الشكل (٥-٧) .



طريقة التوصيل (Δ / Δ)



الملف الابتدائي (Δ)



الملف الثانوي (Δ)

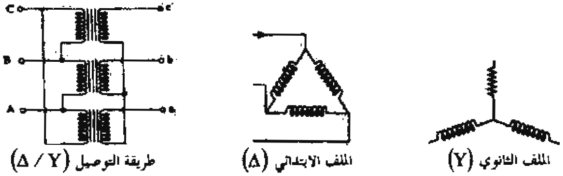
شكل (٥-٧)

توصل بدايات الأطوار A, B, C للملف الابتدائي مع منبع التغذية بينما توصل بدايات الأطوار a, b, c للملف الثانوي مع الحمل.وتعطى نسبة التحويل للمحول في هذه الحالة بالعلاقة :-

$$K = \frac{N_{1ph}}{N_{2ph}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}} = \frac{\frac{I_{2L}}{\sqrt{3}}}{\frac{I_{1L}}{\sqrt{3}}} = \frac{I_{2L}}{I_{1L}}$$

٣- توصيل مثلثي – نجمي (Δ / Y) :-

في هذه الحالة توصل أطراف الملف الابتدائي بشكل مثلثي وأطراف الملف الثانوي بشكل نجمي ، كما هو مبين في الشكل (٥-٨) .



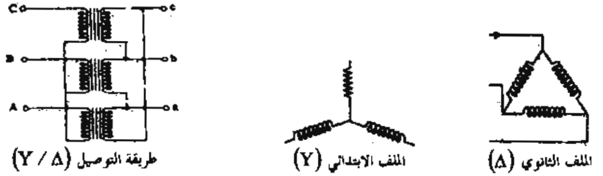
شكل (٥-٨)

توصل بدايات الأطوار A, B, C للملف الابتدائي مع منبع التغذية بينما توصل بدايات الأطوار a, b, c للملف الثانوي مع الحمل.وتعطى نسبة التحويل للمحول في هذه الحالة بالعلاقة :-

$$K = \frac{N_{1ph}}{N_{2ph}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = \frac{V_{1L}}{\frac{V_{2L}}{\sqrt{3}}} = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}} = \frac{I_{2L}}{I_{1L}/\sqrt{3}}$$

٤- التوصيل نجمي – مثلثي (Y / Δ):-

في هـــذه الحالة توصل أطراف الملف الابتدائي بشكل نجمي بينما توصل أطراف الملف الثانوي بشكل مثلثي ،كما هو مبين في الشكل (٥-٩) .



شكل (٥-٩)

توصل بدايات الأطوار A,B,C للملف الابتدائي مع منبع التغذية بينما توصل بدايات الأطـوار a,b,c لـلملف الثانوي مع الحمل.وتعطى نسبة التحويل للمحول في هذه الحالة بالعلاقة :-

$$K=\frac{N_{1ph}}{N_{2ph}}=\frac{V_{1ph}}{V_{2ph}}=\frac{\frac{V_{1L}}{\sqrt{3}}}{V_{2L}}=\frac{I_{2ph}}{I_{1ph}}=\frac{I_{2L}/\sqrt{3}}{I_{1L}}$$

مثال (٥-٣)

محول ثلاثي الأطوار موصول بشكل (Y/Δ) له الجهود الخطية $V_{1L}=10000\,V$ و $V_{2L}=400\,V$ وتبلغ قيمة الجهد المطبق على كل لفة من ملفاته $V_T=2.5\,V$ احسب عدد لفات كل من ملفيه . وبين كيف يتغير عدد اللفات إذا تغيرت طريقة التوصيل إلى (Δ/Y).

الحل :-

بما أن الملف الابتدائي موصول بشكل نجمي ، فإن جهد الطور يساوي :-

$$V_{1ph}=\frac{V_{1L}}{\sqrt{3}}=\frac{10000}{\sqrt{3}}=5773.5\quad V$$

ومنه فإن عدد لفات الملف الابتدائي يساوي :-

$$N_1=\frac{V_{1ph}}{V_T}=\frac{5773.5}{2.5}=2310\quad Turns$$

أما الملف الثانوي فإنه موصول بشكل مثلثي وبالتالي فإن جهد الخط له يساوي جهد الطور ، وبالتالي عدد لفات الملف الثانوي يساوي :-

$$N_2=\frac{V_{2ph}}{V_T}=\frac{V_{2L}}{V_T}=\frac{400}{2.5}=160\quad Turns$$

في الحالة الثانية عندما تصبح طريقة التوصيل (Δ/Y) .

الملف الابتدائي في هذه الحالة موصول بشكل مثلثي وبالتالي فإن :-

$$N_1 = \frac{V_{1ph}}{V_T} = \frac{V_{1L}}{V_T} = \frac{10000}{2.5} = 4000 \quad Turns$$

بينما الملف الثانوي في هذه الحالة موصول بشكل نجمي وبالتالي فإن :-

$$N_2 = \frac{V_{2ph}}{V_T} = \frac{\frac{V_{2L}}{\sqrt{3}}}{V_T} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{2.5} = 93 \quad Turns$$

القدرة في المحولات ثلاثية الأطوار:-

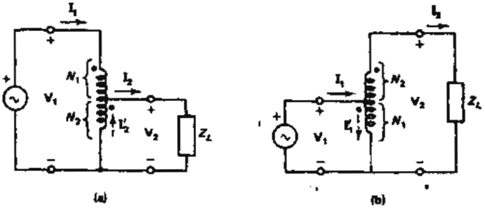
تعطى علاقات القدرة في المحولات ثلاثية الأطوار بالعلاقات التالية:-

$$S = 3 \times V_{ph} \times I_{ph} = 3 \times V_{1ph} \times I_{1ph} = 3 \times V_{2ph} \times I_{2ph} \quad [V.A]$$
$$P = S \times Cos\,\alpha \quad [Watt]$$
$$Q = S \times Sin\,\alpha \quad [V.A.R]$$

ويتم تحديد قيم الجهود والتيارات حسب طريقة التوصيل.وتجدر الإشارة إلى أن α هي الزاوية المحصورة بين متجه الجهد ومتجه التيار في الطور الواحد .

المحول الذاتي أحادي الطور (Single Phase Autotransformer) :-

هذه الأنواع من المحولات تختلف عن الأنواع الأخرى من المحولات بأنه يوجد فيها اتصال كهربائي بالإضافة إلى الاتصال المغناطيسي في الملفات كما هو مبين في الشكل(٥-١٠) :-



شكل (٥-١٠)

يمكن ان يكون هذا النوع من المحولات أحادي الطور أو ثلاثي الأطوار وكذلك يمكن أن يكون خافضاً للجهد كما هو مبين في الشكل (٥-١٠-a) أو رافعاً للجهد كما هو مبين في الشكل (٥-١٠-b) وذلك يعتمد على نسبة عدد لفات الملف الابتدائي بالنسبة لعدد لفات الملف الثانوي . ويمكن الحصول على قيم جهود متغيرة بواسطة هذا النوع من المحولات .

للمحول الذاتي أحادي الطور الخافض للجهد يمكن حساب نسبة التحويل من العلاقة :-

$$\frac{V_1}{N_1+N_2}=\frac{V_2}{N_2}\Rightarrow K=\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1+N_2}{N_2}$$

للمحول الذاتي أحادي الطور الرافع للجهد يمكن حساب نسبة التحويل من العلاقة:-

$$\frac{V_2}{N_1+N_2}=\frac{V_1}{N_1}\Rightarrow K=\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_1+N_2}$$

القوانين المطبقة على المحول أحادي الطور تطبق على المحول الذاتي :-

$$E_1 = V_1 = 4.44 \times N_1 \times f \times \Phi_{max} \qquad [Volt]$$
$$E_2 = V_2 = 4.44 \times N_2 \times f \times \Phi_{max} \qquad [Volt]$$

للمحول الذاتي الخافض للجهد :-

$$I_2 = I_1 + I_2' \qquad [A]$$

للمحول الذاتي الرافع للجهد :-

$$I_2 = I_1 - I_1' \qquad [A]$$

يمتاز المحول الذاتي بأن قيمة الاستطاعة الظاهرية الكلية (استطاعة العبور) التي يرمز لها بالرمز S عبارة عن مجموع قيمتين للاستطاعة هما :-

الأولى تدعـــى الاستطاعة النموذجية (الحسابية) ، ويرمز لها بالرمز S_i وهي الجزء من اســـتطاعة العـــبور الـــذي ينـــتقل إلى الدائرة الثانوية بالتحريض المتبادل (الاتصال المغناطيسي) وتعطى بالعلاقة :-

للمحول الخافض للجهد :-

$$S_i = I_2' \times V_2 \qquad [V.A]$$

والثانية هي الجزء من الاستطاعة الظاهرية التي تنتقل إلى الحمل عن طريق التوصيـل الكهربائي المباشر بين الملفات ، ويرمز لها بالرمز S_c وتعطى بالعلاقة :-

للمحول الخافض للجهد :-

$$S_c = I_1 \times V_2 \qquad [V.A]$$

وتعطى الاستطاعة الظاهرية الكلية للمحول الذاتي بالعلاقة :-

للمحول الخافض للجهد :-

$$S = S_i + S_c = I_2' \times V_2 + I_1 \times V_2$$
$$= \left(I_1 + I_2'\right) \times V_2 = I_2 \times V_2 \qquad [V.A]$$

مثال (٥-٤)

محول ذاتي أحادي الطور خافض للجهد عدد لفات ملفه الابتدائي $N_1 = 130\ Turns$ ونسبة جهوده $\frac{V_1}{V_2} = \frac{380\ V}{220\ V}$ يوصل مع ملفه الثانوي حمل يسحب تياراً قيمته $I_2 = 5\ A$. احسب عدد لفات الملف الثانوي N_2 وتيارات المحول I_1, I_2' ثم احسب نسبة الاستطاعة التي تنتقل إلى الحمل عن طريق الاتصال المغناطيسي .

الحل:-

$$K = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1 + N_2}{N_2} \Rightarrow K \times N_2 = N_1 + N_2$$

$$N_2 = \frac{N_1}{K - 1} = \frac{130}{\frac{380}{220} - 1} = 178.75 \approx 179 \quad Turns$$

$$K = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{5}{\frac{380}{220}} = 2.895 \approx 2.9 \quad [A]$$

$$I_2 = I_1 + I_2' \Rightarrow I_2' = I_2 - I_1 = 5 - 2.9 = 2.1 \quad [A]$$

$$S_i = I_2' \times V_2 = 2.1 \times 220 = 462 \qquad [V.A]$$

$$S = I_2 \times V_2 = 5 \times 220 = 1100 \qquad [V.A]$$

نسبة الاستطاعة التي تنتقل إلى الحمل عن طريق الاتصال المغناطيسي تساوي :-

$$\frac{S_i}{S} = \frac{462}{1100} = 0.42 = 42\%$$

مقارنة بين المحول الذاتي والمحول الكهربائي العادي :-

١- المحول الذاتي يحتوي على ملف واحد أما المحول الكهربائي فيحتوي على أكثر من ملف.

٢- في المحول الذاتي يوجد اتصال كهربائي ومغناطيسي بين الملفات بينما في المحول الكهربائي يوجد اتصال مغناطيسي فقط بين الملفات.

٣- المفاقيد $(I^2 \times R)$ في المحول الذاتي اقل منها في المحول العادي عند نفس كثافة التيار ونفس كثافة الفيض المغناطيسي.

٤- كمية النحاس المستخدم في المحول الذاتي أقل مما هي عليه في المحول العادي n مرة حيث :-

$$n = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

محولات العزل (Isolating Transformers) :-

هي المحولات التي تكون فيها نسبة التحويل مساوية الواحد الصحيح ، وبالتالي فإن عدد لفات الملف الابتدائي لهذه المحولات يساوي عدد لفات الملف الثانوي وجهد الملف الابتدائي يساوي جهد الثانوي.

وفي هـــذه الحالة يكون الهدف من استخدام المحول هو عزل دارة كهربائية عن دارة كهربائـــية أخرى وليس تحويل قيمة الجهد أو التيار إلى قيمة أخرى أقل أو أكثر كما هو الحال في المحولات العادية .

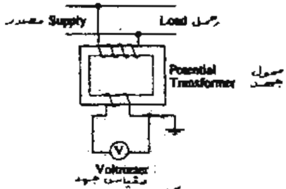
محولات القياس :-

تســتخدم بشــكل رئيسي من أجل وصل أجهزة القياس الكهربائية في دوائر التيار المتــناوب ذات الجهود والتيارات المرتفعة . عند ذلك تكون هذه الأجهزة معزولة عن دوائر الجهد والتيار المرتفع مما يضمن سلامة الكوادر البشرية التي تتعامل معها.

بالإضافة إلى أنها تعمل على توسيع مجالات قياس الأجهزة، وتقسم محولات القياس إلى نوعين رئيسيين:-

١- محولات قياس الجهد (Voltage Transformers (VT:-

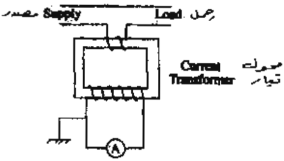
تحتوي على زوج من الملفات بحيث يتم عزل الملف الثانوي عن الملف الابتدائي بشكل تام ، ومن ثم يؤرض الملف الثانوي ، وتعمل هذه الملفات على خفض الجهد، كما هو مبين في الشكل (٥-١١) .



شكل (٥-١١)

٢-محولات قياس شدة التيار (Current Transformers (CT:-

وتصمم على شكل محولات ثنائية الملف رافعة للجهد يوصل ملفها الابتدائي على التوالي مع تيار الخط للمصدر، والملف الثانوي على التوالي مع جهاز قياس التيار، ويؤرض الملف الثانوي ،كما هو مبين في الشكل (٥-١٢) .



شكل (٥-١٢)

أسئلة

٥-١- احســـب نسبة التحويل للمحولات التالية ، وحدد ما إذا كان المحول خافضاً أو رافعاً للجهد للحالات التالية :-

أ- إذا كان :- $N_1 = 12\ Turns, N_2 = 24\ Turns$.

ب-إذا كان :- $N_1 = 240\ Turns, N_2 = 120\ Turns$.

٥-٢-احســـب جهــد الملف الثانوي للمحول إذا كان جهد ملفه الابتدائي يساوي $100\ V$ ، وكــان عــدد لفات ملفه الابتدائي $N_1 = 120\ Turns$ وعدد لفات ملفه الثانوي $N_2 = 10\ Turns$.

٥-٣-احســـب تــيار الملف الثانوي للمحول إذا كان تيار ملفه الابتدائي يساوي $100\ mA$ ، وكــان عــدد لفات ملفه الابتدائي $N_1 = 20\ Turns$ وعدد لفات ملفه الثانوي $N_2 = 200\ Turns$.

٥-٤- محــول خــافض للجهد نسبة تحويله تساوي $K = \frac{2}{1}$ ، وجهد ملفه الابتدائي يســاوي $120\ V$ بتردد $50\ Hz$ ، إذا كانت الاستطاعة الاسمية لهذا المحول $2\ KVA$ ، المطلوب حساب تيار ملفه الثانوي .

٥-٥- محــول خافض للجهد جهد ملفه الابتدائي يساوي $240\ V$ بتردد $50\ Hz$ ، إذا كانـــت الاستطاعة الاسمية لهذا المحول $500\ VA$ ، وكان جهد ملفه الثانوي يساوي $600\ V$ ، المطلوب حساب تيار ملفه الثانوي .

٥-٦-المطلوب حساب القيمة الصغرى لمقاومة الحمل لمحول خافض للجهد إذا كانت الاستطاعة الظاهرية له تساوي $5\ KVA$ ونسبة تحويله تساوي $\frac{600\ V}{200\ V}$.

٥-٧-محول أحادي الطور نسبة تحويله $\frac{250\ V}{3000\ V}$ ، وتردد مصدر التغذية له يساوي $50\ Hz$ ، إذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي الأعظمية للملفات تساوي $1.2\ \frac{Wb}{m^2}$ وكانت القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة في كل لفة تساوي $8\ V$ ،المطلوب حساب :-

١-عدد لفات كل من الملف الثانوي والملف الابتدائي .

٢-مساحة مقطع القلب المعدني .

٥-٨- محول أحادي الطور عدد لفات ملفه الابتدائي $400\ Turns$ وعدد لفات ملفه الثانوي $1000\ Turns$ ، ومساحة مقطع قلبه المعدني تساوي $60\ cm^2$ ، إذا تم وصل ملفه الابتدائي مع مصدر جهد $250\ V$ بتردد $50\ Hz$. المطلوب حساب :-

١-القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي .

٢-جهد الملف الثانوي .

٥-٩- محول ذاتي أحادي الطور جهد ملفه الابتدائي يساوي $100\ V$ وعدد لفات ملفه الابتدائي $100\ Turns$ وعدد لفات ملفه الثانوي $80\ Turns$ ، ويوصل حمل مقداره $10\ \Omega$ مع ملفه الثانوي . المطلوب حساب تيار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي والقدرة الظاهرية الكلية المحول .

٥-١٠-محـــول ثلاثي الأطوار موصـول بشـكل مثلثي – نجمي (Δ / Y) ، إذا كانت نسبة التحويل له تساوي $K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{22000\,V}{400\,V}$ ، وكان معامل القدرة لهذا المحول يســـاوي $Cos\,\alpha = 0.8(Lagging)$ وتــيار الخـــط للملف الثانوي يساوي $5\,A$ ، المطلوب حساب تيار الطور لكل من الملفين ، وحساب القدرة الفعالة لهذا المحول .

٥-١١- محـــول قـــياس تيار نسبة تحويله $\frac{5}{100}$ ، إذا كان جهاز القياس الموصول مع الملـــف الـــثانوي لهذا المحول يقيس $5\,A$ ، المطلوب حساب تيار الخط المار في الملف الابتدائي للمحول .

٥-١٢- محول قياس جهد ملفه الثانوي يوصل مع جهاز قياس جهد تدريجه $10\,V$، كـــم يجـــب أن يكون عدد لفات ملفه الابتدائي حتى يستطيع هذا المحول قياس جهود لغاية $10000\,V$ ، إذا كان عدد لفات ملفه الثانوي $100\,Turns$ ؟

الوحدة السادسة

الآلات الكهربائية

أهمية الآلات الكهربائية.

تصنيف الآلات الكهربائية .

آلات التيار المباشر (المستمر) .

تركيب آلة التيار المباشر (المستمر) .

مبدأ عمل آلة التيار المباشر (المستمر) .

أنواع آلات التيار المباشر (المستمر) حسب طريقة التهييج .

أنواع محركات التيار المستمر .

تنظيم السرعة للمحركات .

آلات التيار المتردد أحادية الطور.

آلات التيار المتردد ثلاثية الأطوار.

الوحدة السادسة

الآلات الكهربائية (Electric Machines)

أهمية الآلات الكهربائية:-

تستخدم الآلات الكهربائية في جميع المجالات والتطبيقات العملية المختلفة نذكر منها المجالات والتطبيقات التالية:-

١-الأجهزة المنزلية:- مثل الثلاجات والغسالات ومسخنات المياه ...الخ .

٢-الاتصالات:- مثل أجهزة الإرسال والاستقبال وأجهزة الراديو والتلفزيون ...الخ.

٣- أنظمة القدرة الكهربائية :- والتي تشمل أنظمة توليد الطاقة الكهربائية ونقلها وتوزيعها ...الخ.

٤-التطبيقات الصناعية المختلفة:- حيث أن التطبيقات والمجالات المذكورة سابقاً تحتوي على الأقل على آلة كهربائية واحدة أو على عدة آلات كهربائية ،فمثلاً الثلاجة تحتوي على محرك كهربائي أما المسجل الكهربائي فيحتوي على محرك ومحول وهي آلات كهربائية.

تصنيف الآلات الكهربائية Classification of Electric Machines

تصنف الآلات الكهربائية كما يلي:-

١-حسب الحركة (Motion) ، وتقسم إلى نوعين :-

أ-آلات كهربائية دوارة (Rotating Machines) مثل المولد والمحرك .

ب–آلات كهربائية ساكنة (Stationary Machines) مثل المحول الكهربائي .

٢–حسب نوعية التيار (Type of Current) ، وتقسم إلى قسمين:–

أ–آلات التيار المتناوب (Alternating Current Machines) .

ب–آلات التيار المباشر(Direct Current Machines).

٣– حسب وظيفة الآلات الكهربائية (Function of Machines) وتقسم إلى:–

أ– المولدات الكهربائية:– وهي آلات كهربائية تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية .

ب– المحركات الكهربائية :– وهي آلات كهربائية تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية .

ج–المحولات الكهربائية:– وهي آلات كهربائية ساكنة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية بمواصفات معينة من حيث قيمة الجهد والتيار إلى طاقة كهربائية بمواصفات أخرى من حيث قيمة الجهد والتيار بدون تغير التردد.

٤–حسب عدد الأطوار، وتقسم إلى:–

أ–آلات كهربائية أحادية الطور.

ب–آلات كهربائية ثنائية الأطوار.

ج–آلات كهربائية ثلاثية الأطوار.

د–آلات كهربائية عديدة الأطوار.

آلات التيار المباشر (المستمر) :-

إن آلـــة التيار المباشر هي آلة عكوسة أي يمكن أن تعمل كمولد أو كمحرك وهذا يعتمد على طريقة توصيل هذه الآلة .

فـــالمولد هـــو عبارة عن آلة كهربائية دوارة تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية أما المحرك فهو عبارة عن آلة كهربائية دوارة تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.

تركيـــب آلة التيار المباشر(Construction of DC Machine) :- تتركب آلة التيار المباشر سواءً كانت مولداً أو محركاً (لأنها آلة عكوسة) من الأقسام التالية:

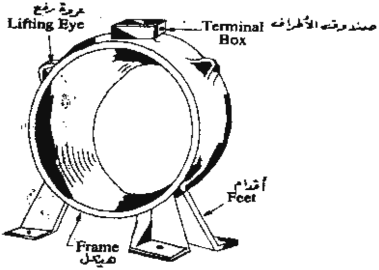
١-القسم الساكن (Stator) أو نظام التهييج أو المحرض:- ويشتمل القسم الساكن على الأجزاء الرئيسية التالية:-

أ-الأقطاب Poles و أحذية الأقطاب Shoes ويكون عددها زوجياً دائماً (٢ ، ٤ ...الخ) . وتصـــنع مـــن مادة ذات نفاذية مغناطيسية عالية على شكل رقائق ،كما هو مبين في الشكل (٦-١) ، أما حذاء القطب فيستخدم لتحسين أداء الآلة .



شكل (٦-١)

ب–الهيكل (Frame) :– ويصنع إما من الحديد الصلب Cast Iron كما في الآلات الصغيرة ، وإما من الفولاذ كما في الآلات ذات القدرة الكبيرة .والشكل (٦–٢) يبين شكل أحد الهياكل لآلة التيار المباشر .



شكل (٦–٢)

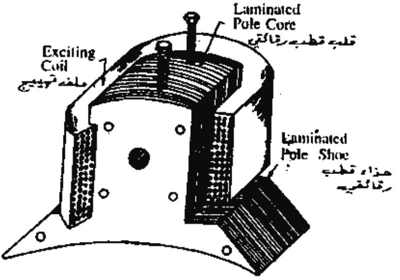
وظائف الهيكل :–

١– يعتبر جزءاً من الدارة المغناطيسية.

٢– يوفر دعماً ميكانيكياً للآلة.

ج–ملفات المجال (Field Windings):–

وتصنع من مادة نحاسية معزولة بمادة عازلة "طلاء" وتلف الأسلاك النحاسية حول الأقطاب وتحمل تياراً مباشراً ، كما هو مبين في الشكل (٦–٣) ، وفي بعض الآلات يوجد ملف واحد فقط يدعى ملف تهييج التوالي أو ملف تهييج التوازي حسب طريقة وصله مع المتحرض "المنتج" أما الآلات الأخرى فيوجد بها ملفان أحدهما يدعى ملف تهييج التوالي والآخر ملف تهييج التوازي.

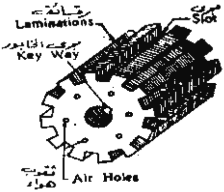


شكل (٦-٣)

إن وظـيفة القسم الثابت أو المحرض هو توليد المجال المغناطيسي Φ لآلة التيار المباشر سواء عملت كمولد أو كمحرك.

٢-القسم الدوار والمسمى المتحرض أو المنتج (Armature) ويتألف من :-

أ- القلب "النواة" (Core) ويصنع من صفائح من الحديد الصلب توجد فيها مجارٍ Slots من أجل وضع الملفات النحاسية فيها، كما هو مبين في الشكل (٦-٤).



شكل (٦-٤)

ب- ملفـات المنـتج (المستحرض) وتصنع من مادة نحاسية معزولة ومتماثلة وموضـوعة داخـل المجاري وتلحم نهايات هذه الملفات مع القطع النحاسية للموحد (Commutator) وتتولد فيها القوة الدافعة الكهربائية.

٣-المجمـع أو المعدل أو الموحد (Commutator) عبارة عن مجموعة من القطع النحاسية المعزولة عن بعضها البعض وعن محور الدوران بمادة عازلة هي المايكا .Mica

وظـيفة الموحد هي تحويل التيار المتناوب الجيبي إلى تيار مباشر في حالة المولد والعكس صحيح في حالة المحرك وهو تحويل التيار المباشر إلى تيار متناوب جيبي .

٤-الفـرش الكربونية (Carbon Brushes)وظيفتها هي إدخال وإخراج التيار إلى آلـة التـيار المباشر، وتكون موضوعة على قطع الموحد . وتثبت الفرش بواسـطة حامل الفرش (Brush Holder) وهو عبارة عن زنبرك يضغط على الفرشاة ، ويطلق على الفرش أحياناً (الفحمات) وتكون على شكل متوازي مستطيلات.

والشكل (٦-٥) يبين الأجزاء الرئيسية التي تتكون منها آلة التيار المباشر .

القوة الدافعة الكهربائية (Electro- Motive Force E.M.F.) :-

تعطـى قـيمة القوة الدافعة "المحركة" الكهربائية لآلة تيار مباشر سواء كانت تعمل كمحرك أو كمولد وفق المعادلة التالية :-

$$E = C_e \, \Phi_o \, n$$

حيث :- C_e الثابت الكهربائي ويعطى بالعلاقة :-

$$C_e = \frac{P\,Z}{60 \times a}$$

حيث P عدد أزواج الأقطاب المغناطيسية .

n سرعة دوران المتحرض وتقاس بـ (*r.p.m.*) دورة لكل دقيقة.

Z عـدد نواقل المتحرض التي تشارك في توليد القوة الدافعة الكهربائية الكلية.

a عدد أزواج المسارات الفرعية التي يتألف منها ملف المتحرض.

Φ_o الفيض المغناطيسي تحت القطب الواحد ويقاس بالويبر.

عزم الآلة (**Torque of DC Machine**) :-

يعطى العزم لآلة التيار المباشر بالعلاقة التالية :-

$$T = C_m\,\Phi_o\,I_a$$

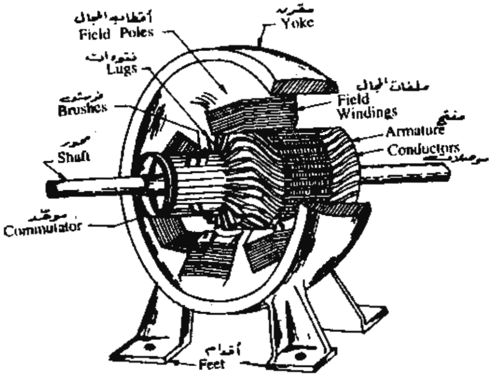
حيث :- I_a تيار المنتج ويقاس بالأمبير .

C_m الثابت الميكانيكي ويعطى بالعلاقة :-

$$C_m = \frac{P\,Z}{2\pi \times a}$$

فإذا كانت الآلة تعمل كمولد يسمى العزم في هذه الحالة العزم الكابح ، وعند عملها كمحرك فيسمى العزم المحرّك .

آلة التيار المباشر التوضيحية :-



شكل (٦-٦)

إن آلـة التـيار المباشـر التوضيحية المبينة في الشكل (٦-٦) تمتاز بالأمور التالية:-

١- ملف المتحرض يتألف من لفة واحدة فقط أي انه عبارة عن ناقلين.

٢-عدد قطع المجمع عبارة عن قطعتين.

٣-عدد الأقطاب المغناطيسية قطبان فقط أحدهما شمالي والآخر جنوبي.

إن آلة التيار المباشر التوضيحية تستخدم فقط للدراسة وتوضيح مبدأ عمل آلة التيار المباشـر سـواء عملت كمولد أو كمحرك ، أما آلة التيار المباشر العملية فهي تحتوي عدداً كبير من الملفات وتحتوي قطبين أو أكثر من الأقطاب المغناطيسية.

مبدأ عمل آلة التيار المباشر:-

أ. عمل الآلة كمولد (Generator):-

لكــي تعمل آلة التيار المباشر كمولد يجب تغذية ملفات المحرض (التهييج) بتيار مباشـــر I_f وإعطـــاء حـــركة لعضـــو المتحرض، فتولد في ملفات المنتج قوة دافعة كهربائـــية (Electro-Motive Force) فإذا تم وصل ملفات المنتج مع حمل مادي من خـــلال المجمع والفرش فسوف يسري تيار في الحمل يدعى تيار المتحرض I_a ويعطى الجهد V_a على أطراف الفرش بدلالة E_a بالعلاقة التالية :-

$$E_a = V_a + I_a\ R_a$$

حيث :- R_a مقاومة ملف المتحرض.

I_a تيار المتحرض.

E_a القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج.

V_a الجهد على أطراف الفرش.

ب- عمل الآلة كمحرك (Motor):-

لكــي تعمــل آلــة التــيار المباشر كمحرك يجب تغذية ملفات التهيـيج بتيار مباشر I_f يولد بدوره Φ_f وكذلك تغذية ملفات المتحرض بتيار I_a ففي هذه الحالة ينشــأ عــزم محرك T نتيجة التأثير المتبادل بين I_a و Φ_f والذي بدوره يولد قوة ميكانيكية F تعمل على تحريك المحرك بسرعة n . ويعطى العزم بالعلاقة التالية:-

$$T = C_m\ \Phi\ I_a$$

أما القوة الدافعة الكهربائية المتولدة E_b فتعطى بالعلاقة:-

$$E_b = V_a - I_a R_a$$

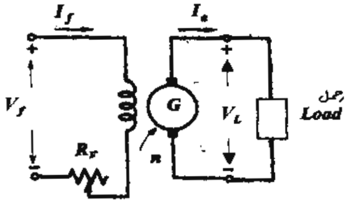
حيث :- E_b القوة الدافعة الكهربائية العكسية . وسميت E_b في هذه الحالة بالعكسية لأنها بعكس اتجاه التيار I_a ، أما في حالة المولد فهي مع اتجاه التيار I_a لذلك فإنها في حالة المولد لا تسمى بالعكسية. وتجدر الإشارة إلى أنه تم إهمال هبوط الجهد على الفرش في المعادلات السابقة .

أنواع مولدات التيار المباشر حسب طريقة التهييج :-

إن ملفات التهييج (الثابت أو المحرض) تكون موضوعة على القسم الثابت من الآلة وهي تكون عبارة عن ملف أو ملفين حسب نوع الآلة ، فملف التهييج عندما يوصل على التوالي مع ملف المتحرض يدعى ملف تهييج التوالي أما إذا كان موصولاً على التوازي مع ملف المتحرض فيدعى ملف تهييج التوازي.

١- المولد ذو التهييج المستقل "المنفصل" :-

يكون ملف التهييج منفصلاً عن ملف المتحرض كما هو مبين في الشكل (٦-٧) :-



شكل(٦-٧)

المعادلات الخاصة بهذا النوع من المولدات :-

$$V_f = I_f \, R_f$$

$$E_a = V_a + I_a \, R_a$$

حيث :- V_a الجهد على أطراف الفرش.

I_a تيار المتحرض.

R_a مقاومة ملف المتحرض.

I_f تيار التهييج .

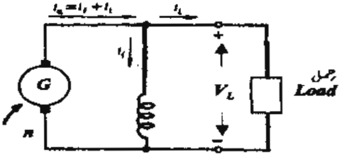
R_f مقاومة ملف التهييج .

V_f جهد التهييج.

E_a القوة الدافعة الكهربائية .

٢. المولد ذو التهييج الذاتي ويقسم إلى :-

أ- مولد التوازي (Shunt Excited Generator):- الدارة الكهربائية لهذا النوع من المولدات موضحة في الشكل (٦-٨) .



شكل(٦-٨)

المعادلات الخاصة بهذا النوع من المولدات :-

$$I_a = I_f + I_L$$

$$V_a = V_f = V_L$$

$$E_a = V_a + I_a R_a$$

$$V_f = I_f R_f$$

حيث :- V_L جهد الحمل .

I_L تيار الحمل .

شروط إحداث التهييج الذاتي :-

أ- وجود مغناطيسية متبقية :-

تنتج هذه المغناطيسية نتيجة التشغيل المسبق للآلة ، أما إذا كانت الآلة جديدة فيتم تهييج هذه المولدات من منبع خارجي ولفترة قصيرة بحيث تحتفظ ببعض مغناطيسيتها وتبقى ممغنطة بها لمدة طويلة جداً.

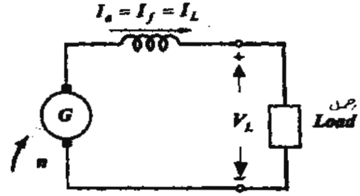
ب-اتجاه الدوران وقطبية ملف التهييج :-

يجب أن يكون اتجاه دوران المتحرض باتجاه موافق بحيث يسمح بزيادة الفيض الأساسي أو يجب أن تكون قطبية ملف التهييج مناسبة لكي يحرض التيار المار فيه فيضاً يتفق بالاتجاه مع الفيض الأساسي المتبقي وفي هذه الحالة سوف يظهر جهد على أطراف المولد . أما إذا لم يظهر جهد ففي هذه الحالة ينبغي إما عكس قطبية ملف التهييج بعكس طرفيه أو عكس اتجاه دوران المتحرض.

ج- مقاومة دائرة التهييج :- يجب أن تكون هذه المقاومة اصغر من قيمة معينة تدعى المقاومة الحرجة .

د- ســـرعة دوران المتحرض :- يجب أن تكون سرعة دوران المتحرض اكبر من قيمة حرجة لها تدعى السرعة الحرجة .

ب- مولد التوالي (Series Excitation Generator) :- الدائرة المكافئة لهذا النوع من المولدات مبينة في الشكل (٦-٩) .



شكل(٦-٩)

المعادلات الخاصة بهذا النوع من المولدات :-

$$I_a = I_f = I_L$$

$$V_a = V_f + V_L$$

$$E_a = V_L + I_a \left(R_a + R_f\right)$$

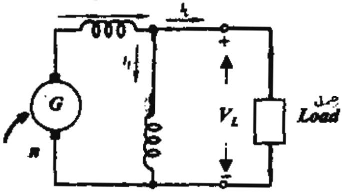
ج- المولدات المركبة أو المختلطة (Compound Generators):-

وهـــي المولـــدات التي تحتوي على ملفين للتهييج أحدهما يدعى ملف التوالي والآخر يدعى ملف التوازي.

وتقسم المولدات المركبة إلى قسمين أساسيين هما :-

١-مولد قميج مركب طويل (Long Shunt Compound Generator):-

الشكل (٦-١٠) يبين الدائرة الكهربائية لهذا النوع من المولدات .



شكل (٦-١٠)

المعادلات الخاصة بهذا النوع من المولدات :-

$$I_a = I_f + I_L$$

$$E_a = V_L + I_a \left(R_a + R_{fs}\right)$$

$$E_a = V_a + I_a\ R_a$$

حيث :- R_{fs} مقاومة ملف قميج التوالي .

٢- مولد قميج مركب قصير (Short Shunt Compound Generator) :-

الشكل (٦-١١) يبين الدائرة الكهربائية لهذا النوع من المولدات .

المعادلات الخاصة بهذا النوع من المولدات :-

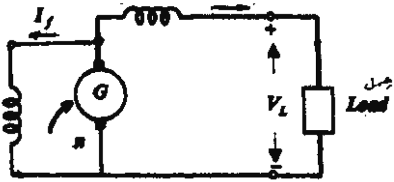
$$I_a = I_f + I_L$$

$$V_f = I_f\ R_f$$

$$E_a = V_L + I_a R_a + I_L R_{fs}$$

$$E_a = V_a + I_a R_a$$

$$I_L = I_a - I_f$$



شكل (٦-١١)

يمتاز ملف التوالي عن ملف التوازي بسماكة اكبر وعدد لفات أقل.

استخدامات مولدات التيار المباشر :-

١- مولدات التوازي تستخدم في الحالات التالية :-

أ-لشحن البطاريات.

ب-لتوفير التهييج للمولدات المتناوبة المتوالفة .

ج-لأنظمة تزويد القدرة والإضاءة بحيث تستخدم مع هذه المولدات منظمات لتيار التهييج (Field Regulator).

٢- مولدات التوالي تستخدم في الحالات التالية :-

تستخدم كمعززات للجهد (Boosters)على خطوط التغذية ذات التيار المباشر.

٣-المولدات المركبة تستخدم في الحالات التالية :-

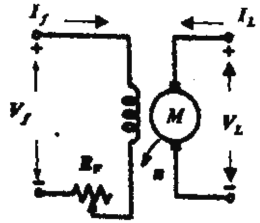
تستخدم في آلات اللحام ولتغذية الأحمال البعيدة عن مصدر التغذية.

محركات التيار المباشر (DC Motors):-

تقسم محركات التيار المباشر حسب طريقة التهييج إلى الأقسام الرئيسية التالية :-

١- المحركات ذات التهييج المستقل :-

الدائرة الكهربائية لهذا النوع من المحركات مبينة في الشكل (٦-١٢) .



شكل (٦-١٢)

المعادلات الخاصة لهذا النوع من المحركات :-

$$V_f = I_f\ R_f$$

$$E_b = V_a - I_a\ R_a$$

حيث :- E_b القوة الدافعة الكهربائية العكسية.

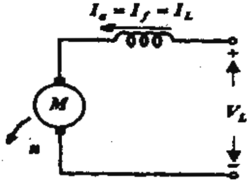
I_L تيار الشبكة المغذية .

V_L جهد الشبكة المغذية .

من مساوئ هذه التوصيلة أنها تحتاج إلى مصدرين للجهد.

٢-المحركات ذات التهييج الذاتي وتقسم إلى :-

أ- محركات تهييج التوالي :- الدائرة الكهربائية لهذا النوع من المحركات مبينة في الشكل (٦-١٣) .



شكل (٦-١٣)

المعادلات الخاصة بهذا النوع من المحركات :-

$$I_a = I_f = I_L$$

$$E_b = V_L - I_a \left(R_a + R_f\right)$$

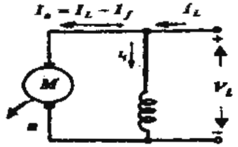
ب- محركات تهييج التوازي :- الدائرة الكهربائية لهذا النوع من المحركات مبينة في الشكل (٦-١٤) .

المعادلات الخاصة بهذا النوع من المحركات :-

$$I_L = I_a + I_f$$

$$V_a = V_f = V_L$$

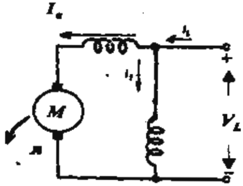
$$E_b = V_a - I_a \ R_a$$



شكل (٦-١٤)

ج- المحركات المركبة (المختلطة) :- وتقسم إلى نوعين أساسيين :-

أ- محركات مركبة ذات توصيلة طويلة :- الدائرة الكهربائية لهذا النوع من المحركات مبينة في الشكل (٦-١٥) .



شكل (٦-١٥)

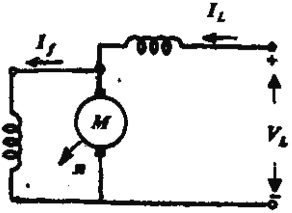
المعادلات الخاصة بهذا النوع من المحركات :-

$$I_L = I_a + I_f$$

$$V_a = V_L - I_a R_{fs}$$

$$E_b = V_L - I_a \left(R_a + R_{fs}\right)$$

ب-محركات مركبة ذات توصيلة قصيرة :- الدائرة الكهربائية لهذا النوع من المحركات مبينة في الشكل (٦-١٦) .



شكل (٦-١٦)

المعادلات الخاصة بهذا النوع من المحركات :-

$$I_L = I_a + I_f$$

$$V_a = V_L - I_a\ R_{fs}$$

$$E_b = V_L - I_a\ R_a - I_L\ R_{fs}$$

<u>تنظيم السرعة للمحركات (Speed Regulation):-</u>

يعطى تنظيم السرعة للمحركات بشكل عام بالعلاقة التالية :-

$$\text{Reg} = \frac{N_{n.L} - N_{f.L}}{N_{f.L}} \times 100\ \%$$

حيث $N_{n.L}$ – سرعة اللاحمل أي بدون وجود حمل ميكانيكي على محور المحرك.

$N_{f.L}$ – سرعة الحمل الكامل (Full Load).

عزم الإقلاع للمحركات (Starting Torque):-

هو العزم الذي يبذله المحرك لحظة البدء عندما يكون في حالة السكون ، ويجب أن يكون أكبر من عزم الحمولة حتى يقلع المحرك ويدور.

تطبيقات محركات التيار المباشر:-

١-محـــركات التوازي:- تستخدم في الحالات التي تتطلب عزم بدء (إقلاع) متوسطاً وسرعة ثابتة تقريباً وتستخدم في :-

- آلات القطع (Machine Tools).
- النافخات (Blowers) .
- المراوح (Fans).
- المخارط(Lathes).
- المضخات المركزية (Central Pumps).
- المضخات الترددية (Reciprocating Pumps).

٢-محـــركات التوالي :- وتستخدم في الحالات التي تتطلب عزم إقلاع عالياً وسرعة متغيرة مع الحمل حيث تستخدم في الحالات التالية:-

- آلات الجر (Tractive Machines) .
- الناقلات (Conveyors).
- القطارات الكهربائية.
- الرافعات (Hoists).

٣- المحـــركات المخـــلطة الجمعية:- تستخدم في الحالات التي تتطلب عزم إقلاع عالياً وسرعة متغيرة مع الحمل حيث تستخدم في :-

- أغراض القص والتخريم (Shearing , Punching) .
- المصاعد (Elevators) .
- الناقلات (Conveyors) .

محاسن محركات التيار المباشر:

- تستخدم في الحالات التي تتطلب إقلاعاً متكرراً للمحركات.
- تستخدم في الحالات التي تتطلب تنظيماً واسعاً للسرعة.
- تستخدم في الحالات التي تتطلب تغيراً متكرراً لاتجاه السرعة.
- معامل القدرة لها دوماً يساوي الواحد.

مساوئ محركات التيار المباشر:-

- تحتاج بشكل مستمر إلى صيانة لوجود الفرش والموحد.
- تعتبر محركات غير اقتصادية بسبب الضياعات المختلفة في مقاومات التنظيم والموحد...الخ.

آلات التيار المتردد (Alternating Current Machines)

تصنف آلات التيار المتردد حسب عدد الأطوار إلى:-

١-آلات أحادية الطور (Single Phase Machines) .

٢-آلات ثلاثية الأطوار (Three Phase Machines) .

وكـلا النوعين السابقين يمكن أن يعمل إما كمحرك لإعطاء حركة أو كمولد لتوليد الطاقة الكهربائية .

توجـد أنواع عديدة من المحركات الحثية أحادية الطور تصنع بقدرات مختلفة، ومن هذه المحركات المحرك الحثي ذو الوجه المشطور.

المحرك الحثي ذو الوجه المشطور (Split-Phase Motor) :-

وهـو أحـد محركات التيار المتردد ذات القدرة المنخفضة (اقل من حصان) وهو يستعمل لتشغيل بعض الأجهزة مثل الغسالات والمضخات الصغيرة .

التركيب :- يتكون هذا المحرك من الأجزاء الرئيسية التالية :-

١-الجزء الثابت ويتكون من :-

أ- قلـب حديـدي مصنوع من صفائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض وتوجد عليها مجارٍ نصف مغلقة .

ب- إطار من الحديد الزهر أو الصلب يثبت عليه القلب الحديدي .

ج- ملفـات تشغيل وهي عبارة عن سلك نحاسي معزول سميك موضوع عـادة في قاع المجاري وتسمى أيضاً الملفات الرئيسية .أما ملفات البدء فهي عبارة عـن سـلك نحاسي معزول رفيع ذي مقاومة أكبر يوضع داخل مجارٍ فوق ملفات التشغيل وتسمى أيضاً الملفات المساعدة.

٢- الجزء الدوار ويتكون من :-

أ- قلب مصنوع من صفائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض.

ب- عامود الإدارة ، حيث يتم تجميع الصفائح وضغطها عليه.

ج- ملفات القفص السنجابي وهي عبارة عن قضبان مصنوعة من مادة الألمنيوم أو الفولاذ بحيث تكون مقصورة من كلا الطرفين بواسطة حلقات مصنوعة من المادة نفسها.

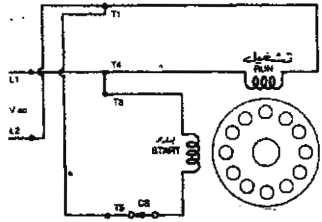
٣-الغطاءان الجانبيان :- حيث يتم تثبيتهما بواسطة براغي ويقومان بحمل محور الدوران وحماية المحرك .

٤-مفتاح الطرد المركزي :- ويكون موصولاً علىَ التوالي مع ملف البدء (الإقلاع) ويقوم بفصل ملف البدء بعد فترة الإقلاع .

والمقصود بفترة الإقلاع :- هي الفترة الزمنية التي يستغرقها المحرك للانتقال من حالة السكون إلى حالة الدوران الطبيعي،ويجب أن تكون هذه الفترة أقل ما يمكن .

الدائرة الكهربائية للمحرك الحثي :-

الدائرة الكهربائية للمحرك الحثي مبينة في الشكل (٦-١٧) .



شكل (٦-١٧)

مبدأ العمل:-

في بداية التشغيل يكون مفتاح الطرد المركزي (Centrifugal Switch (CS)) مغلقاً وتكون ملفات التشغيل (Run) موصولة على التوازي مع ملفات البدء (Start) ، وبالتالي عند تغذية المحرك بتيار متردد سوف يمر تيار (I_R) في ملف التشغيل وتيار(I_S) في ملف البدء وينتج عن هذين التيارين فيضان مغناطيسيان، وهذان الفيضان يشكلان المجال المغناطيسي الدوار وهذا المجال المغناطيسي الدوار سوف يتجه إلى الدوار عبر الثغرة الهوائية فيولد في ملفات القفص السنجابي للدوار تيارات تأثيرية ونتيجة التأثير المتبادل بين التيارات التأثيرية والمجال المغناطيسي الدوار يتولد عزم دائر يؤثر على محور الدوران بقوة ميكانيكية تعمل على تدوير المحور فيبدأ المحور بالدوران وعندما تصل سرعته إلى 75 % من سرعته الاسمية يقوم مفتاح الطرد المركزي بفصل ملفات البدء عن منبع التغذية وبالتالي يبقى ملف التشغيل موصولاً وحده مع المنبع .

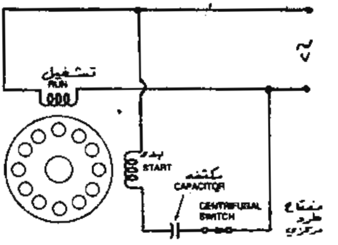
المحرك الحثي أحادي الطور ذو المكثف (Capacitor-Start Motor):-

إن هذا المحرك يشبه المحرك ذا الوجه المشطور ، لكن الاختلاف الوحيد بينهما هو أن هذا المحرك يحتوي على مكثف.

يصنع المحرك الحثي ذو المكثف بقدرات أكبر وبعزم إقلاع أكبر وذلك نتيجة وجود المكثف.

عزم الإقلاع :- هو العزم اللازم لإقلاع المحرك من حالة السكون حتى حالة الدوران الطبيعي له.

الدائـــرة الكهربائـــية لـــلمحرك الحثي أحادي الطور ذي المكثف مبينة في الشكل (٦-١٨) .



شكل (٦-١٨)

المحركات الحثية ثلاثية الأطوار :-

تسمى هذه المحركات أيضاً المحركات غير المتواقتة وسبب هذه التسمية هو أن ســرعة الــدوار لها لا تـساوي سرعة المجال المغناطيــسي الدوار والفرق بين السرعتين منسوباً إلى سرعة التواقت يدعى الانزلاق ويعطى بالعلاقة التالية :-

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\ \%$$

حيث :- n سرعة الجزء الدوار للمحرك وتقاس بالدورة بالدقيقة (*r.p.m.*).

n_s سرعة المجال المغناطيــسي الدوار وتعطى بالعلاقة :-

$$n_s = \frac{60 \times f}{P}$$

حيث P عدد أزواج الأقطاب.

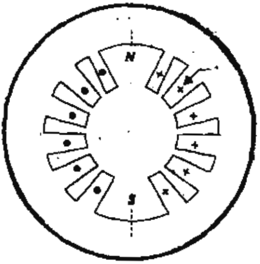
f تردد المصدر .

التركيب:-

يتركب المحرك الحثي ثلاثي الأطوار من الأجزاء التالية:-

١-الجزء الثابت ويتكون من :-

أ- أسطوانة مجوفة تكون مصنوعة من صفائح الصلب الخاص بالصناعات الكهربائية وذلك لتقليل الضياعات الناتجة عن التيارات الدوامية وتكون معزولة عن بعضها البعض وتحتوي الأسطوانة على مجارٍ تكون موجودة على السطح الداخلي للأسطوانة كما في الشكل (٦-١٩).



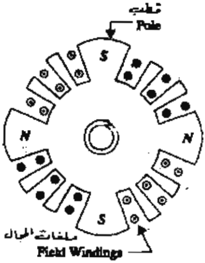
شكل (٦-١٩)

ب- ملف ثلاثي الأطوار:- مصنوع من مادة نحاسية معزولة ويوصل مع منبع ثلاثي الأطوار ويكون موضوعاً داخل المجاري الموجودة على السطح الداخلي للجزء الثابت كما هو مبين في الشكل (٦-١٩).

٢- الجزء الدوار ويتألف من :-

أ- الأسطوانة ، حيث تصنع من صفائح الصلب الخاص بالصناعات الكهربائية وذلك لتقليل الضياعات الناتجة بفعل التيارات الدوامية .

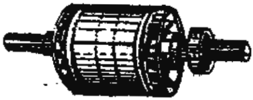
وتكــون هذه الصفائح معزولة عن بعضها البعض وتشكل قلب العضو الدوار وتحتوي هذه الأسطوانة على مجارٍ تكون موجودة على السطح الخارجي للدوار كما هو مبين في الشكل (٦-٢٠) .



شكل (٦-٢٠)

ب- الملفات ويوجد منها نوعان :-

النوع الأول: دوار المحرك ذي القفص السنجابي ، وهو عبارة عن مجموعة من القضـــبان مصـــنوعة من النحاس أو الألمنيوم وتوضع هذه القضبان دون مادة عازلـــة داخـــل المجـــاري ويتم قصر نهايق القضبان بواسطة حلقتين من مادة القضبان نفسها كما هو مبين في الشكل (٦-٢١).



شكل (٦-٢١)

الـــنوع الـــثاني :- دوار المحرك ذي حلقات الانزلاق ، وهو عبارة عن ملف ثلاثي الأطوار مصنوع من سلك نحاسي معزول ويحتوي على العدد نفسه من الملفات

الموجــودة في الجزء الثابت وتوصل هذه الملفات بشكل نجمي ، أما الأطراف الأخرى الحــرة فيــتم وصلها مع ثلاث حلقات انزلاق تكون مثبتة على محور الدوران ولكن تكــون معزولة عنه ، ويوجد على حلقات الانزلاق فرش مصنوعة من مادة الكربون وتكــون مثبــتة بواسطة ماسك الفرش، ثم تأخذ أطراف الملفات من حلقات الانزلاق والفرش إلى مقاومات ثلاثية الأطوار تدعى مقاومات الإقلاع.

<u>الأجزاء غير الكهربائية في الآلة غير المتواقتة :-</u>

١- محور الدوران الذي يوضع عليه قلب العضو الدوار.

٢- الهيكل الضخم الخارجي الذي يثبت عليه قلب العضو الساكن.

٣- كراسي التحميل التي يرتكز عليها محور الدوران.

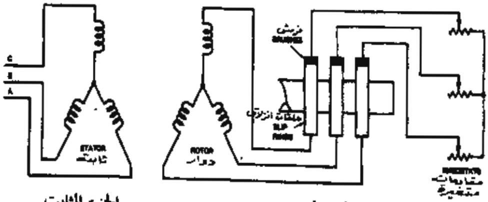
٤- المروحة التي تستخدم من أجل التبريد.

تقسم المحركات الحثية (غير المتواقتة) إلى قسمين:-

١-محركات ذات حلقات الانزلاق (**Three Phase Slip- Ring Motors**).

أو ذات الدوار الملفوف (**Three-Phase Wound Rotor Motors**).

الشكل (٦-٢٢) يبين شكل هذا النوع من المحركات .



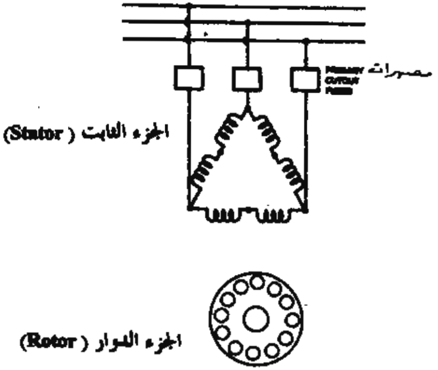
الجزء الثابت الجزء الدوار

شكل (٦-٢٢)

إن المقاومـــة ثلاثية الاطوار الموصولة مع الدوار تستخدم من أجل تقليل تيار الإقــلاع الذي يسحبه المحرك من الشبكة لحظة الإقلاع ، وكذلك تستخدم لـــزيادة عـــزم الإقلاع . لذلك فهي تكون موصولة مع الدائرة لحظة تشغيل المحـــرك وعـــندما يقلع المحرك ويدور بسرعته الاسمية يتم إخراج المقاومة إما يدوياً أو آلياً، أما إذا بقيت المقاومة موصولة في الدائرة فإنها تستخدم في هذه الحالة من أجل تنظيم السرعة.

٢-محركات القفص السنجابي (Three-Phase Squirrel Cage Motors).

الشكل (٦-٢٣) يبين شكل هذا النوع من المحركات .



شكل (٦-٢٣)

مبدأ العمل :-

عـــند تغذية ملف العضو الثابت بتيار ثلاثي الأطوار فإنه سيتولد مجال مغناطيسي دوار Φ_1 حيـــث يـــتجه هذا المجال الدوار من العضو الثابت إلى العضو الدوار عبر الثغرة الهوائـــية فيـــتقاطع هذا المجال مع نواقل الدوار بحيث تولد في هذه النواقل قوة دافعة كهربائـــية E_2 فـــإذا كانـــت دائرة الجزء الدوار مغلقة فإنه سيتولد تيار I_2 في ملف الدوار بتردد f_2 . إن التيار I_2 بدوره سوف يولد فيضاً مغناطيسياً دواراً Φ_2 يدور بـــنفس اتجـــاه Φ_1 وبنفس السرعة وبالتالي سوف ينتج فيض مغناطيسي دوار محصل ونتيجة التأثير المتبادل بين المجال المغناطيسي الدوار المحصل وبين تيارات العضو الدوار سوف يتولد عزم كهرومغناطيسي يؤثر على نواقل الدوار بقوى ميكانيكية تعمل على تحريك الدوار بسرعة n تكون بنفس اتجاه المجال المغناطيسي الدوار ولكن سرعة المجال المغناطيسي الدوار n_s تكون أكبر من سرعة الدوار n .

$$S = \frac{n_S - n}{n_S} \times 100\,\%$$

$$f_2 = S \times f_1$$

حيث :- f_2 تردد تيارات العضو الدوار.

f_1 تردد تيارات العضو الثابت .

المولدات الكهربائية المترددة :-

إن أكـــثر الأنـــواع شيوعاً من هذه المولدات هي مولدات التيار المتردد ثلاثية الأطوار والتي تسمى المنوبات المتواقتة ثلاثية الأطوار .

سميت هذه المنوبات بهذا الاسم لأن العضو الدوار يدور بنفس سرعة المجال المغناطيسي الدوار أي أن $n_S = n$ وبالتالي فإن الانزلاق يساوي الصفر حيث :-

$$S = \frac{n_S - n}{n_S} = 0$$

التركيب:- تتركب المنوبة المتوافقة من الأجزاء التالية :-

١.الجزء الثابت ويتالف من :-

أ-الهيكل الخارجي:- وهو عبارة عن صفائح مصنوعة من الفولاذ يتم تجميعها مع بعضها البعض بواسطة براغي ويستخدم لحماية الآلة ويوجد فيه فتحات من أجل التهوية .

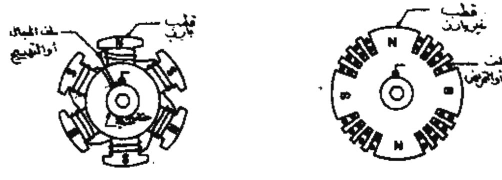
ب- القلب :- وهو يستخدم من أجل إكمال الدارة المغناطيسية ويتالف من صفائح من خلائط الفولاذ الخاص بالصناعات الكهربائية وتكون هذه الصفائح معزولة عن بعضها البعض وتوجد مجارٍ مفتوحة أو نصف مغلقة على سطح القلب .

ج- لفات الجزء الثابت :- وهي عبارة عن ملف ثلاثي الأطوار مصنوع من سلك نحاسي معزول.

٢- الجزء الدوار وهو نوعان كما هو مبين في الشكل (٦-٢٤) :-

أ- ذو أقطاب بارزة.

ب- ذو أقطاب غير بارزة.

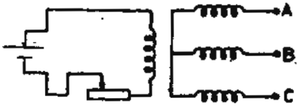


شكل (٦-٢٤)

يحتوي كلا النوعين السابقين على القلب المصنوع من صفائح معزولة عن بعضها البعض وعلى ملف نحاسي معزول يتغذى من منبع تيار مباشر ويحتوي على حلقات انزلاق بالإضافة إلى الفرش الكربونية .

٣- المهيج :- هو عبارة عن مولد تيار مباشر يستخدم لتغذية ملفات التهييج للجزء الدوار ويوضع على نفس المحور للمنوبة المتواقتة.

الدارة الكهربائية للمنوبة المتواقتة مبينة في الشكل (٦-٢٥) .



شكل (٦-٢٥)

مبدأ العمل :-

عند تغذية الجزء الدوار للآلة المتواقتة بتيار مستمر (مباشر) سوف يتولد فيض مغناطيسي Φ_r ويكون هذا الفيض ثابتاً لذلك لا يولد أي تيارات في ملفات الجزء الثابت. ولكن عند تدويرالجزء الدوار للآلة بسرعة n فإن الفيض المغناطيسي Φ_r سوف يدور بنفس السرعة بحيث يولد هذا المجال قوة دافعة كهربائية في ملفات الجزء الثابت وتكون هذه القوة ثلاثية الأطوار فإذا كان هناك حمل موصول مع ملفات الجزء الثابت للمنوبة فإن ذلك يؤدي إلى مرور تيار ثلاثي الأطوار متناظر في هذا الحمل المتزن .

نلاحظ أن الآلة المتواقتة تدور بسرعة التواقت :-

$$n = n_S = \frac{60 \times f}{P}$$

إن الآلــة المتواقتة هي آلة عكوسة أي أنها يمكن أن تعمل كمنوبة متواقتة أو كمحرك متواقت حسب طريقة التوصيل ، فعند عمل الآلة المتواقتة كمحرك متواقت ففي هذه الحالة تتم تغذية ملفات الجزء الثابت لثلاثية الأطوار بتيار ثلاثي الأطوار وكذلك تغذية ملف الجزء الدوار للمحرك المتواقت بتيار مباشر ، وفي هذه الحالة نحصل على حركة.

مــيزات المحرك الحثي ثلاثي الأطوار ذي القفص السنجابي بالمقارنة مع المحرك الحثي ذي الدوار الملفوف (حلقات الانزلاق).

١- بسيط التركيب ومتين.

٢- أرخص سعراً.

٣- كفاءته أعلى بسبب قلة الضياعات النحاسية.

٤- معامل القدرة له أفضل نسبياً.

٥- مضاد للحريق إذ يؤدي عدم وجود حلقات الانزلاق والمضخات إلى إزالة خطر الشرارة.

٦- سرعته ثابتة تقريباً.

ميزات المحركات الحثية ثلاثية الأطوار ذات الدوار الملفوف بالمقارنة مع المحركات الحثية ذات القفص السنجابي :-

١- عزم إقلاع أكبر بكثير.

٢- تيار إقلاع أقل بكثير.

٣- يمكــن تغــيير الســرعة بواسطة مقاومة خارجية في دارة الدوار لذلك تستخدم في الحالات التي تتطلب تنظيماً ناعماً لسرعة الدوران.

ميزات المحرك الحثي ثلاثي الأطوار بالمقارنة مع المحرك المتواقت .

١- إقلاعه سهل وذاتي.

٢- لا يحتاج إلى مصدر DC.

٣- يمكن التحكم بسرعته.

٤- كلفتة بشكل عام أرخص نسبياً.

ميزات المحرك المتواقت بالمقارنة مع المحرك الحثي ثلاثي الأطوار :-

١- أقل حساسية لتغيرات جهد الشبكة المغذية.

٢- يستخدم لتحسين معامل القدرة بالإضافة إلى تحريك آلة معينة.

٤- سرعته ثابتة لا تتغير بتغيرات الحمولة الميكانيكية.

مثال(٦-١)

أوجـــد القـــوة الدافعـــة الكهربائية في مولد تيار مباشر رباعي الأقطاب ذي متحرض تموجي $a = 1$ ويحتوي على مجارٍ عددها يساوي 36 مجرى ،في كل مجرى 24 ناقلاً ، إذا كان الفيض في كل قطب $5.4\ mWb$ وسرعة دوران المولد $1500\ r.p.m.$.

الحل :-

$$E = C_e\ \Phi_o\ n$$

$$C_e = \frac{P \times Z}{60 \times a}$$

حيث :- a عدد أزواج المسارات الفرعية .

Φ_o الفيض المغناطيـــي للقطب الواحد .

Z عدد نوا قل المتحرض التي تشارك في توليد القوة الدافعة الكهربائية.

P عدد أزواج الأقطاب .

$$Z = 24 \times 36 = 864$$

عدد أزواج الأقطاب يساوي :- $P = \frac{4}{2} = 2$

$$C_e = \frac{P \times Z}{60 \times a} = \frac{2 \times 864}{60 \times 1} = 28.8$$

$$E = 28.8 \times 5.4 \times 10^{-3} \times 1500 = 233.28 \quad V$$

مثال (٦-٢)

محرك تيار مستمر من نوع توازٍ متطابق سداسي الأقطاب يدور بسرعة $450\ r.p.m.$. إذا كان المتحرض يحتوي 864 لفة وكان الفيض المغناطيـــي في كل قطب $0.06\ Wb$ المطلوب حساب القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة في المتحرض .

الحل:-

بما أن اللف متطابق فان عدد الدوائر الفرعية يساوي عدد أزواج الأقطاب $P = a$.

$$P = a = \frac{6}{2} = 3$$

عدد النواقل الكلية يساوي عدد اللفات × 2 ويساوي :-

$$Z = 2 \times 864 = 1728$$

$$E = \frac{P \times Z}{60 \times a} \times \Phi_o \times n = \frac{3 \times 1728}{60 \times 3} \times 0.06 \times 450 = 777.6 \quad V$$

مثال (٦-٣)

محرك تيار مستمر من نوع توازٍ جهده $440\,V$ ومقاومة ملف التهييج تساوي $200\,\Omega$ ومقاومة متحرضه تساوي $0.8\,\Omega$. أوجد القوة الدافعة الكهربائية العكسية في المحرك إذا كانت قدرة الدخل $P_{in} = 8778\,W$.

الحل :-

$$P_{in} = V_L . I_L \Rightarrow I_L = \frac{P_{in}}{V_L} = \frac{8778}{440} = 19.95\,A$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{440}{200} = 2.2\,A$$

$$I_a = I_L - I_f = 19.95 - 2.2 = 17.75\,A$$

$$E_b = V_a - I_a \times R_a = 440 - 17.75 \times 0.8 = 425.8\,V$$

مثال (٦-٤)

مولد تيار مستمر من نوع توازٍ يعطي $500\,A$ عندما يكون الجهد بين قطبيه $250\,V$، فإذا كانت $R_a = 0.04\,\Omega$ ومقاومة ملف التهييج التفرعي $R_f = 50\,\Omega$. المطلوب حساب القوة الدافعة الكهربائية التي ينتجها المولد .

الحل:-

$$I_f=\frac{V}{R_f}=\frac{250}{50}=5\quad A$$
$$I_a=I_L+I_f=500+5=505\,A$$
$$E_a=V_a+I_a\times R_a=250+505\times0.04=270.2\,V$$

مثال (٦-٥)

محرك حثي ثلاثي الأطوار ذو 4 أقطاب يتغذى بتيار متردد تردده يساوي $f=50\ Hz$.المطلوب حساب السرعة المتواقتة وسرعة الدوران عند انزلاق يساوي $S=4\ \%$.

الحل :-

$$n_s=\frac{f\times60}{P}=\frac{50\times60}{2}=1500\quad r.p.m.$$
$$S=\frac{n_s-n}{n_s}\Rightarrow 0.04\times1500=1500-n$$
$$n=1500-1500\times0.04=1440\quad r.p.m.$$

مثال(٦-٦)

أوجد القوة الدافعة الكهربائية في مولد تيار مباشر عدد أزواج أقطابه يساوي 8 ملفوف بشكل تطابقي عدد نوا قله يساوي 800 ناقل ، والفيض المغناطيسي الناتج في كل قطب يساوي $15\ mWb$ وسرعة دوران المولد $500\ r.p.m.$.

أوجد هذه القوة الدافعة الكهربائية إذا كانت طريقة اللف هي الطريقة التموجية .

الحل :-

١–في حالة اللف التطابقي :–

$$E=\frac{\Phi_o\times Z\times n}{60}\times\frac{P}{a}=\frac{15\times10^{-3}\times800\times500}{60}\times\frac{8}{8}=100V$$

٢–في حال اللف التموجي يكون $a=2\,,P=8$ وبالتالي :–

$$E=\frac{\Phi_o\times Z\times n}{60}\times\frac{P}{a}=\frac{15\times10^{-3}\times800\times500}{60}\times\frac{8}{2}=400\quad V$$

مثال(٦–٧)

مولـد تـيار مباشر من نوع تواز يزود حملاً قدره $10\ KW$ بجهد $250\ V$ من خلال نواقـل مقاومـتها الكلـية تسـاوي $0.07\ \Omega$ ، مقاومة ملف المنتج للمولد تساوي $0.05\ \Omega$ ومقاومة ملف التهييج تساوي $63.2\ \Omega$. المطلوب حساب :–

١–الجهد على طرفي المولد .

٢–القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج على اعتبار أن هبوط الجهد على زوج الفحمات يساوي $2\ V$.

الحل :–

تيار الحمل يساوي :–

$$I_L=\frac{P}{V}=\frac{10\times1000}{250}=40\quad A$$

هبوط الجهد على النواقل يساوي $40\times0.07=2.8\ V$

الجهد على طرفي المولد يساوي:–

$$V_T=250+2.8=252.8\quad V$$

تيار التهييج يساوي :–

$$I_{sh}=\frac{V_T}{R_{sh}}=\frac{252.8}{63.2}=4\quad A$$

تيار المنتج يساوي :-

$$I_a = I_L + I_{Sh} = 40 + 4 = 44\ A$$

هبوط الجهد على طرفي المنتج يساوي :-

$$V_a = I_a . R_a = 44 \times 0.05 = 2.2\ V$$

القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج تساوي :-

$$E = V_T + I_a \times R_a + V_b = 252.8 + 2.2 + 2 = 257 \quad V$$

مثال (٦-٨)

محرك حثي ثلاثي الأطوار ذو ثمانية أقطاب يدور بسرعة 720 *r.p.m.* إذا كان تردد المنبع يساوي 50 *Hz*، أوجد الانزلاق لهذا المحرك .

الحل :-

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\,\% = \frac{\frac{60 \times f}{P} - 720}{\frac{60 \times f}{P}} \times 100\ \%$$

$$S = \frac{\frac{60 \times 50}{4} - 720}{\frac{60 \times 50}{4}} \times 100\ \% = \frac{750 - 720}{750} \times 100\,\% =$$

$$S = 4\,\%$$

أسئلة

٦-١ – لماذا تعتبر آلة التيار المباشر آلة عكوسة ؟

٦-٢ – اشرح تركيب آلة التيار المباشر مبيناً الأجزاء الرئيسة لها.

٦-٣- اشرح تركيب المجمع في آلة التيار المباشر ، وما هي وظيفته؟

٦-٤- على ماذا يعتمد الثابت الكهربائي لآلة تيار مباشر؟

٦-٥- على ماذا تعتمد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الجزء الدوار؟

٦-٦- على ماذا يعتمد الثابت الميكانيكي لآلة تيار مباشر؟

٦-٧- على ماذا يعتمد العزم المتولد في آلة تيار مباشر؟

٦-٨- اذكر أنواع مولدات التيار المباشر حسب طريقة التهييج موضحاً ذلك بالرسم.

٦-٩- ما هي شروط إحداث التهييج الذاتي في آلة تيار مباشر؟

٦-١٠- ما الفرق بين المولد المباشر ذي التهييج المركب والتوصيل القصير والمولد المباشر ذي التهييج المركب والتوصيل الطويل؟

٦-١١- ما هي وظيفة المقاومة الموصولة مع دارة التهييج؟

٦-١٢- ما تأثير إضافة المقاومة على التوالي مع المتحرض على قيمة السرعة؟

٦-١٣- اذكر أنواع محركات التيار المباشر حسب طريقة التهييج موضحاً ذلك بالرسومات والمعادلات الرياضية .

٦-١٤- ما هي وظيفة المقاومة الخارجية الموصولة مع دائرة المتحرض لمحرك التيار المباشر ؟

٦-١٥- اشرح تركيب المحرك الحثي ذي الوجه المشطور أحادي الطور.

٦-١٦- اشرح مبدأ العمل للمحرك الحثي ذي الوجه المشطور أحادي الطور.

٦-١٧- ما المقصود بملف الإقلاع وملف التشغيل؟

٦-١٨- ما هي وظيفة مفتاح الطرد المركزي المستخدم مع المحرك ذي الوجه المشطور أحادي الطور؟

٦-١٩- لماذا سمي المحرك ذو الوجه المشطور بهذا الاسم ؟

٦-٢٠- ما الفرق بين المحرك الحثي ذي الوجه المشطور والمحرك الحثي ذي المكثف.

٦-٢١- لماذا تسمى المحركات الحثية ثلاثية الأطوار المحركات غير المتوافقة؟

٦-٢٢- عرف الانزلاق.

٦-٢٣- على ماذا تعتمد سرعة التواقت؟

٦-٢٤- اذكر أنواع المحركات الثلاثية الأطوار غير المتوافقة.

٦-٢٥- ما هو الفرق بين المحرك الحثي ثلاثي الأطوار ذي القفص السنجابي والمحرك الحثي ذي حلقات الانزلاق؟

٦-٢٦- اشرح تركيب المحرك الحثي ثلاثي الأطوار ذي القفص السنجابي.

٦-٢٧-اشرح تركيب المحرك الحثي ثلاثي الأطوار ذي حلقات الانزلاق.

٦-٢٨- اشرح مبدأ العمل للمحرك الحثي ثلاثي الأطوار ذي حلقات الانزلاق.

٦-٢٩- ارسم الدائرة الكهربائية لكلا النوعين للمحرك الحثي ثلاثي الأطوار مبيناً الأجزاء المختلفة على الرسم.

٦-٣٠- لماذا سميت المنوبات المتواقتة بهذا الاسم ؟ واشرح مبدأ عملها.

٦-٣١- ارسم الدائرة الكهربائية للمنوبة المتواقتة ثلاثية الأطوار.

٦-٣٢- ما المقصود بالمهيجة ؟ولماذا تستخدم؟

٦-٣٣- اذكر أنواع الجزءالدوار المستخدمة في المنوبات المتواقتة.

الوحدة السابعة

دوائر الإلكترونيات الصناعية

عناصر الإلكترونيات الصناعية .

الديود .

أنواع الديودات .

فحص الديود باستخدام جهاز قياس المقاومة .

دوائر التقويم باستخدام الديودات .

المرشحات أو الفلاتر .

الترانزستورات .

استخدام الترانزستور كمكبر .

استخدام الترانزستور كمفتاح .

ترانزستور تأثير المجال .

فحص الترانزستور باستخدام جهاز قياس المقاومة .

ترانزستور أحادي الوصلة .

الثايرستور .

الترياك .

الصمامات .

الدوائر المتكاملة .

المكبرات .

الوحدة السابعة

دوائر الإلكترونيات الصناعية

إن أي نظام يحتوي على عناصر إلكترونية يدعى نظاماً إلكترونياً، والعناصر الإلكترونية هـي عناصـر مصنعة من مواد شبة موصلة من مادة السيليكون *(Si)* أوالجرمانيوم *(Ge)* حيث أننا نعلم أن المادة في الطبيعة تقسم من حيث توصيلها للكهرباء إلى ثلاثة أنواع رئيسية:-

١-المواد الموصلة مثل النحاس والألمنيوم .

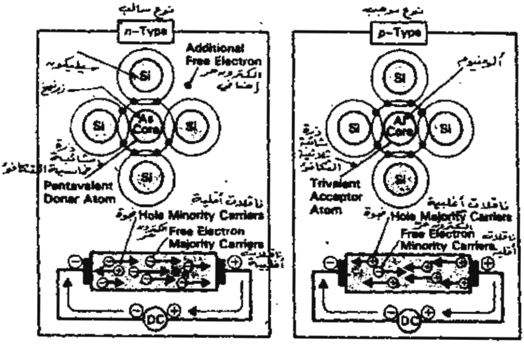
٢-المواد شبه الموصلة مثل السيليكون و الجرمانيوم.

٣-المواد العازلة مثل الهواء والبلاستيك .

المواد شبه الموصلة تقسم إلى قسمين رئيسين:-

أ- مواد شبه موصلة سالبة (نوع n):- وتصنع هذه المواد بإضافة شائبة خماسية التكافؤ مثل مادة الفسفور إلى مادة شبه موصلة نقية ، كما هو مبين في الشكل (٧-١-a) .

ب-مـواد شـبه موصلة موجبة (نوع p) :- وتصنع هذه المواد بإضافة شائبة ثلاثية التكافؤ مـثل مـادة الألمنـيوم إلى مادة شبه موصلة نقية ،كما هو مبين في الشكل (٧-١-b) .



(a) (b)

شكل (٧–١)

عناصر الإلكترونيات الصناعية وخواصها:–

١–الديود (Diode) :–

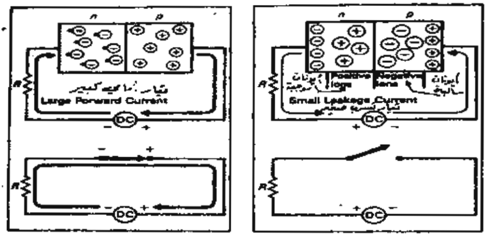
عبارة عن عنصر إلكتروني ثنائي الوصلة يتألف من طبقتين الأولى بقطبية موجبة (*p*) والثانية بقطبية سالبة (*n*) . وله طرفان الأول موصول مع الطبقة الموجبة ويسمى المصعد (Anode) (الأنود A) ، والثاني موصول مع الطبقة السالبة ويسمى المهبط (Cathode) (الكاثود K) ، كما هو مبين في الشكل (٧–٢) .



شكل (٧–٢)

وحسب طريقة تطبيق الجهد على طرفي الديود يمكن للديود أن ينحاز باتجاهين:-

١-الانحياز الأمامي (Forward-biasing) :- ويحدث عندما يوصل القطب الموجب للمصدر مع الطرف الموجب للديود (المصعد) ، ويوصل القطب السالب للمصدر مع الطرف السالب للديود (المهبط) ، كما هو مبين في الشكل (٧-٣-a) .



شكل (٧-٣)

في هذه الحالة تكون المقاومة الداخلية للديود قليلة (بحدود $10\ \Omega$) وتعتمد قيمتها على نسبة المادة الشائبة ، ويمر تيار من خلال الديود يدعى تيار الانحياز الأمامي ويعطى بالعلاقة التالية :-

$$I_F = \frac{V_S - V_{diode}}{R}$$

حيث :- I_F تيار الانحياز الأمامي.

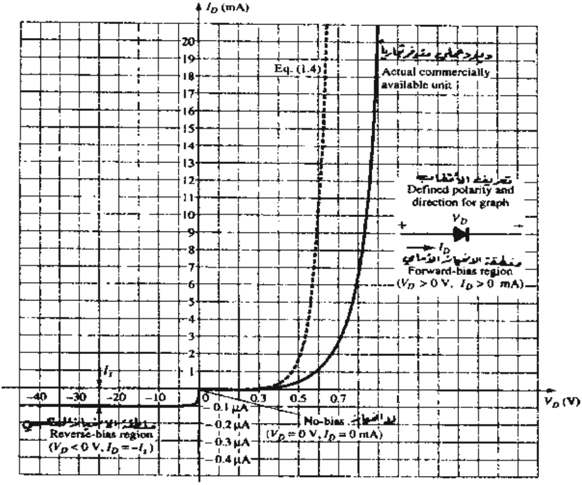
V_S جهد المصدر.

V_{diode} هبوط الجهد على الديود.

R مقاومة الدائرة.

٢-الانحـــياز العكســـي (Reverse-biasing):- ويحـــدث عندما يوصل القطب الموجـــب للمصـــدر مـــع الطرف السالب للديود (المهبط)، ويوصل القطب الســـالب للمصـــدر مـــع الطرف الموجب للديود (المصعد) كما هو مبين في الشـــكل (٧-٣-b) .تكون المقاومة الداخلية للديود مرتفعة ولا يمر أي تيار مـــن خـــلال الديـــود ما عدا تياراً قليلاً قيمته أجزاء من (μA) يدعى تيار التسريب (Leakage Current) .

خواص الديود:-



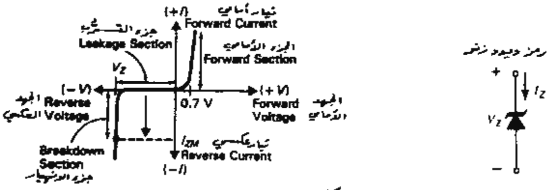
شكل (٧-٤)

وهـي علاقـة الجهد مع التيار في الديود ، والمنحنى المبين في الشكل (٧-٤) يوضح خواص الديود في حالة الانحياز الأمامي والانحياز العكسي .

وهـنالك بعض أنواع الديودات الخاصة والتي لها تطبيقات واستعمالات خاصة تختلف في خواصها عن الديود شبه الموصل العادي منها :-

١- ديـود زنر (Zener Diode) :- يستخدم في دوائر تنظيم الجهد كمثبت للجهد على أطراف الأحمال الكهربائية ويكون موصولا بحالة انحياز عكسي .

١- والشكل (٧-٥) يبين رمز وخواص هذا الديود .

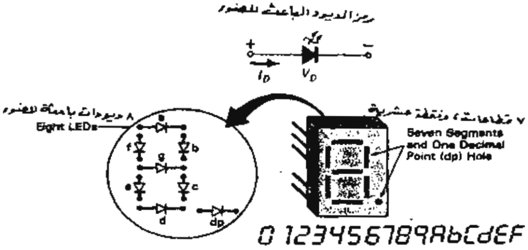


شكل (٧-٥)

٢-الديود الباعث للضوء (The Light-Emitting Diode (LED)) :-

وهـو ديود يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية ، ويعطي لون ضوء معيناً حسب نوع الشوائب المصنع منها الديود ، ويكون موصولا بحالة انحياز أمامي ، ويستخدم في أجهـزة القياس الرقمية من اجل إظهار الأرقام (0,1,....,10) والحروف والإشارات والرموز وكمصدر لإرسال إشارات في أنظمة الاتصالات الضوئية .

والشكل (٧-٦) يبين رمز هذا الديود وبعض مجالات استخدامه .

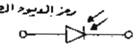


شكل (٧-٦)

٣-الديود الضوئي (The Photodiode) :-

وهو ديود يحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية ويعطي خرجاً كهربائياً نتيجة تعرضه لضوء وتعتمد قيمته على شدة الضوء الساقط ، ويكون موصولاً بحالة انحياز عكسي ، ومن تطبيقاته تحويل رموز البطاقات المثقبة في الحاسبات الإلكترونية إلى إشارات كهربائية ويستخدم في كاشفات الضوء وفي الخلايا الشمسية .

والشكل (٧-٧) يبين رمز هذا الديود .

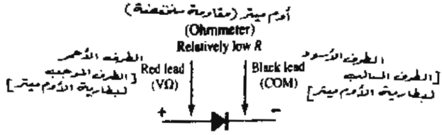


شكل (٧-٧)

طريقة استخدام جهاز قياس المقاومة في فحص الديود والتأكد من صلاحيته :-

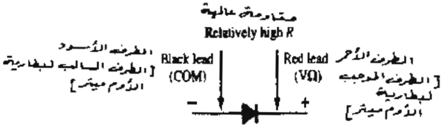
١-عند وصل الطرف الموجب لبطارية جهاز القياس (Red lead) مع الطرف الموجب للديود (المصعد)، والطرف السالب لبطارية جهاز القياس (Black lead) مع الطرف السالب للديود(المهبط).

في هذه الحالة يقيس الجهاز مقاومة قليلة (بحدود $\Omega\,(50 \rightarrow 10)$) ويكون الديود في حالة الانحياز الأمامي ،كما هو مبين في الشكل (٧-٨) .



شكل (٧−٨)

٢− عــند وصــل الطــرف الموجب لبطارية جهاز القياس (Red lead) مع الطرف السالب للديود (المهبط) ،ووصل الطرف السالب لبطارية جهاز القياس(Black lead) مــع الطرف الموجب للديود (المصعد) ، في هذه الحالة يقرأ الجهاز قيمة مقاومة كبيرة (اللانهايــة) ويجب أن لا تقل قيمتها عن عشرة أضعاف قيمة المقاومة للديود في حالة الانحــياز الأمامي ، ويكون الديود في حالة الانحياز العكسي، كما هو مبين في الشكل (٧−٩) .



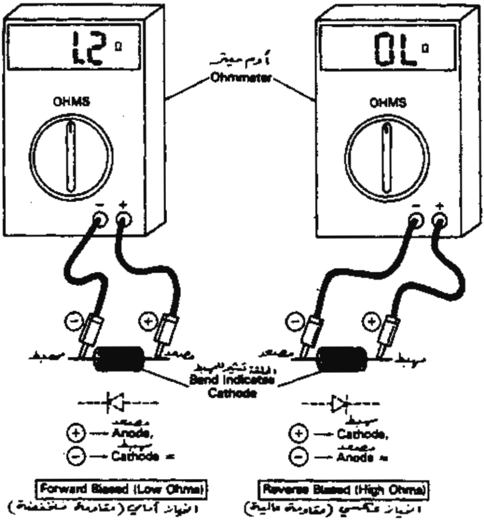
شكل (٧−٩)

٣−إذا أعطى الجهاز قراءة مقاومة قليلة في كلا الاتجاهين يكون الديود في حالة القصر (Short Circuit) .

٤−إذا أعطى جهاز القياس قراءة مقاومة عالية في الاتجاهين فإن الديود يكون في حالة الفتح (Open Circuit) .

ملاحظة:− في كل الحالات السابقة يجب أن يكون جهد بطارية جهاز القياس أكبر من $0.7\,V$ وهــو عــبارة عــن جهد الانحياز الأمامي للديود المصنوع من السيليكون.أما الديود المصنوع من الجرمانيوم فإن جهد الانحياز الامامي له يساوي $0.3\ \ V$.

والشكل (٧-١٠) يبين الطريقة العملية المتبعة لفحص الديود باستخدام جهاز قياس المقاومة.



شكل (٧-١٠)

دوائر التقويم باستخدام الديودات :-

الغاية من التقويم هي تحويل الجهد المتناوب الى جهد مستمر ، والمبدأ الأساسي لعملية التقويم باستخدام الديودات هو السماح للتيار بالمرور باتجاه واحد وعدم السماح له بالمرور بالاتجاه المعاكس .

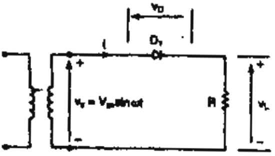
تقسم دوائر التقويم احادية الطور باستخدام الديودات الى الاقسام الرئيسية التالية:-

١-دوائر تقويم نصف موجة أحادية الطور.

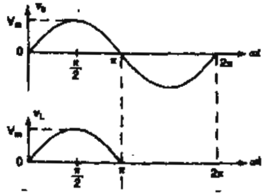
٢-دوائر تقويم موجة كاملة أحادية الطور.

١- مقوم نصف الموجة أحادي الطور (Single Phase Half- Wave Rectifier):-

مقوم نصف الموجة أحادي الطور هو عنصر يقوم بتحويل الجهد المتناوب إلى جهد مستمر فقط في نصف موجة الدخل . والشكل (٧-١١) يبين الدائرة الكهربائية وشكل موجة الجهد على اطراف الحمل لمقوم نصف موجة أحادي الطور في حال كون الحمل حملاً مادياً.



الدائرة الكهربائية



موجة الجهد

شكل (٧-١١)

إذا كان الحمل ماديا وكان الجهد في موجة الدخل يعطى بالعلاقة الجيبية التالية :-

$$v(t) = V_m \; Sin\,(\omega t)$$

فان القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل تحدد من العلاقة :-

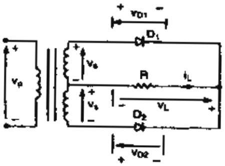
$$V_{av} = \frac{1}{T}\int_{0}^{T} v(t)\, dt$$

$$V_{av} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2} \times V_{rms}}{\pi} \approx 0.45\ V_{rms}$$

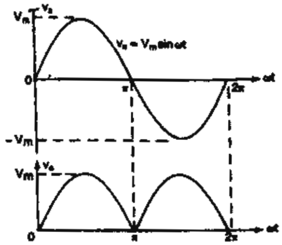
٢- مقوم الموجة الكاملة أحادي الطور (Single Phase Full- Wave Rectifier) :-

ويقسم الى قسمين اساسين هما :-

١-مقوم موجة كاملة باستخدام محول متناظر (Center Tapped) :-الدائرة الكهربائية وشكل موجة المخرج لهذا المقوم مبينة في الشكل (٧-١٢) .



الدائرة الكهربائية



موجة الجهد

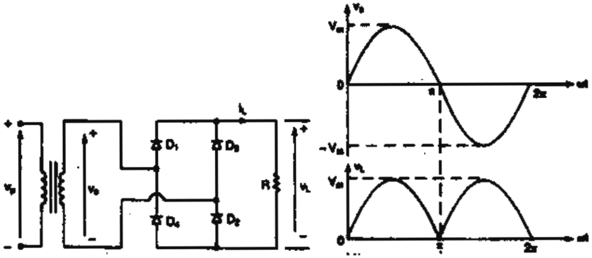
شكل (٧-١٢)

القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل تعطى بالعلاقة :-

$$V_{av} = \frac{2}{T}\int_{0}^{\frac{T}{2}} V_m\ Sin\,\omega\, t\ dt = \frac{2\,V_m}{\pi} = \frac{2\sqrt{2} \times V_{rms}}{\pi} \approx 0.9\, V_{rms}$$

٢- مقوم موجة كاملة جسري (Bridge Rectifier):-

دائرة هذا المقوم وشكل موجة الجهد على أطراف الحمل مبينة في الشكل (٧-١٣).



شكل (٧-١٣)

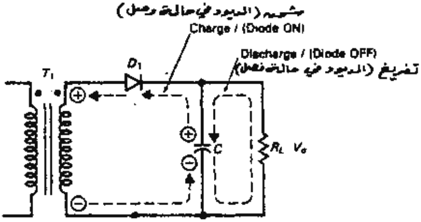
المرشحات أو الفلاتر (Filters) :-

نتيجة لعملية التقويم باستخدام الديودات فإن الجهد على الحمل يتألف من مركبتين ، مركبة جهد مستمر ومركبة جهد متناوب يحتوي على الموجة الأساسية وعدد من موجات التوافقيات لتلك الموجة .

والجهد الخارج في عملية التقويم لا يمكن استخدامه للوصل بشكل مباشر مع الحمل وإنما يجب أن تجرى عليه بعض عمليات الترشيح أو التنعيم (الفلترة) ، وهذه المرشحات أو الفلاتر تتألف من ملفات ومكثفات بالإضافة إلى المقاومات وتقسم إلى الأقسام الرئيسية التالية :-

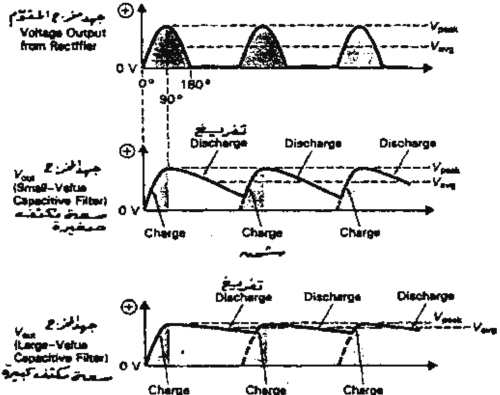
١-الفلاتر التي تستخدم المكثفات (The Capacitive Filters):- ومبدأ عملها يقوم على أساس شحن المكثف خلال فترة توصيل الديود ومن ثم تفريغ هذه الشحنة في الحمل خلال الفترة التي يكون فيها الديود في حالة الفصل .

الشـــكل (٧-١٤) يـــبين الدائرة الكهربائية للمرشح السعوي الموصول مع مخرج دائرة تقويم نصف موجة أحادية الطور :-



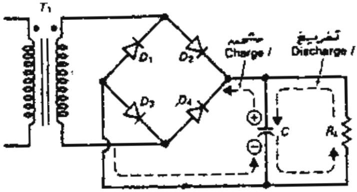
شكل (٧-١٤)

والشكل (٧-١٥) يبين شكل موجة الجهد على أطراف الحمل .



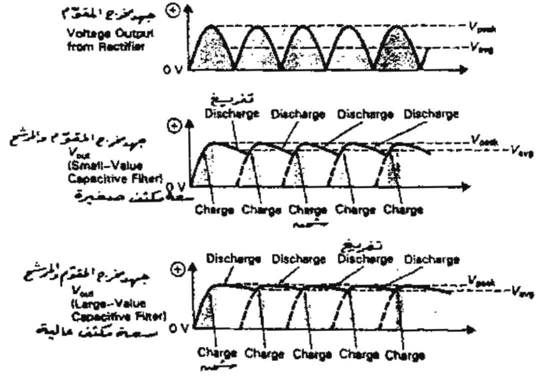
شكل (٧-١٥)

الشـــكل (٧-١٦) يبين الدائرة الكهربائية للمرشح السعوي الموصول مع مخرج دائرة تقويم موجة كاملة أحادية الطور :-



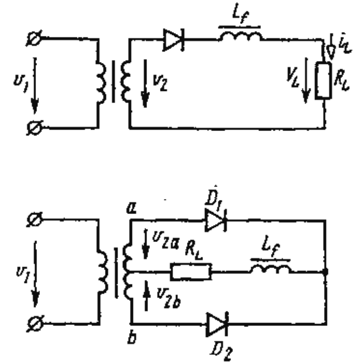
شكل (٧-١٦)

والشكل (٧-١٧) يبين شكل موجة الجهد على أطراف الحمل .



شكل (٧-١٧)

٢-الفلاتر التي تستخدم الملفات :- ويتم الحصول عليها بوصل الملف على التوالي مع الديود ،كما هو مبين في الشكل (٧-١٨) .

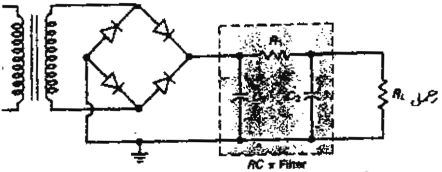


شكل (٧-١٨)

ومبدأ عملها يقوم على تخزين الطاقة أثناء توصيل الديود ، ثم تفريغ هذه الطاقة في الحمل أثناء فصل الديود . ونتيجة وجود فصل في عمل هذه الملفات في دوائر تقويم نصف الموجة فإن هذا النوع من الفلاتر لا يستخدم في دوائر تقويم نصف الموجة ، ويستخدم في الدوائر ذات التيارات المرتفعة والأحمال الصغيرة .

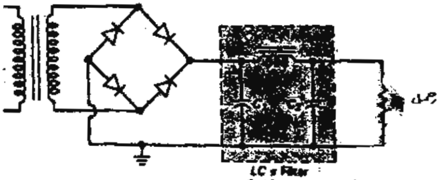
٣- الفلاتر التي تستخدم المقاومة والمكثف أو الملف والمكثف :- *(RC, LC Filters)*:-

ويستخدم بشكل واسع النوع π أو النوع T . من هذه الفلاتر كما هو مبين في الشكل (٧-١٩) .



شكل (٧-١٩)

والشـــكل (٧-٢٠) يـــبين مرشحاً من نوع (LC) موصولاً مع مخرج مقوم موجة كاملة أحادي الطور :-



شكل (٧-٢٠)

٢-الترانزستورات (Transistors) :-

تقسم الترانزستورات إلى نوعين أساسيين :-

أ-ترانزستور ثنائي القطبية أو ثنائي الوصلة (**Bipolar-Junction Transistor**) .

ب- ترانزستور تأثير المجال (**Field-Effect Transistor**) .

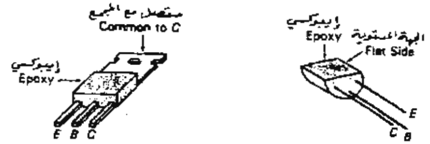
الترانزستور ثنائي القطبية (**BJT**) :-

يتكون هـذا الترانزسـتور من ثلاث طبقات من مادة شبه موصلة مصنعة من مادة السـيليكون (Si) أو الجرمانـيوم (Ge) بحيث تكون الطبقة الوسطى مخالفة بالقطبية للطبقتين الأخريين ، ويقسم إلى نوعين:-

١- الترانزستور ثنائي القطبية من نوع ($p-n-p$).

٢- الترانزستور ثنائي القطبية من نوع ($n-p-n$).

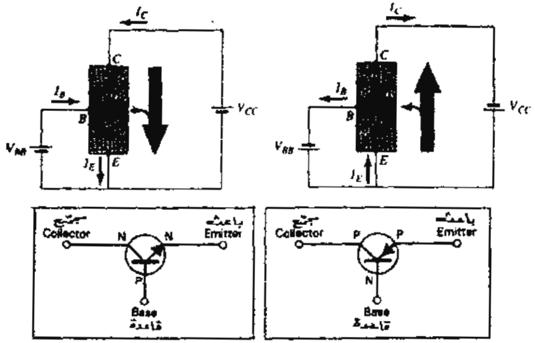
الشكل (٧-٢١) يبين بعض أشكال هذه الترانزستورات .



شكل (٧-٢١)

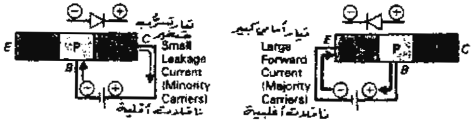
الأطراف الثلاثة للترانزستور تدعى الباعث (**Emitter**) والجامع أو المجمع (**Collector**) والقاعدة (**Base**) .

والشكل (٧-٢٢) يبين أطراف التوصيل والرمز الكهربائي للترانزستور ثنائي الوصلة أو ثنائي القطبية بنوعيه .



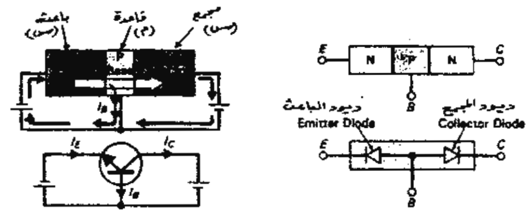
شكل (٧-٢٢)

في حالـــة عمل الترانزستور ضـمن المنطقة الفعالة تكون وصلة الباعث- القاعدة بانحياز أمامي ووصلة المجمع- القاعدة بانحياز عكسي ،كما هو مبين في الشكل (٧-٢٣) .



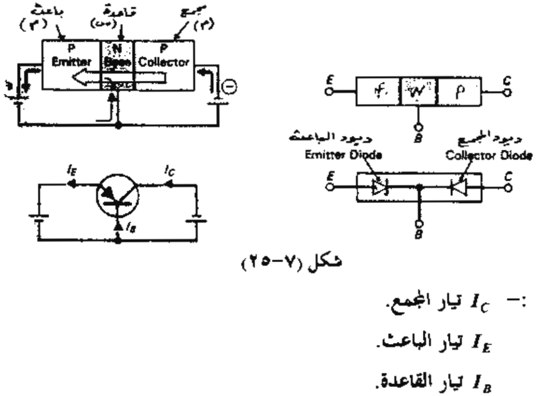
شكل (٧-٢٣)

الترانزســـتور من نوع $(n-p-n)$يمكن تمثيله بديودين $(p-n)$ و $(n-p)$ كما هو مبين في الشكل (٧-٢٤) .



شكل (٧−٢٤)

الترانزستور من نوع $(p-n-p)$ يمكن تمثيله أيضاً بديودين $(n-p)$ و $(p-n)$ واتجاه التيار يعاكس الاتجاه في حالة ترانزستور من نوع $(n-p-n)$، كما هو مبين في الشكل (٧−٢٥) .



شكل (٧−٢٥)

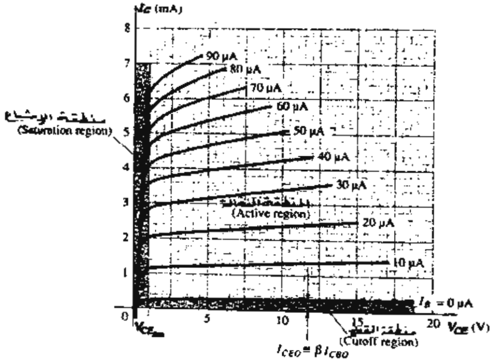
حيث :− I_C تيار المجمع.

I_E تيار الباعث.

I_B تيار القاعدة.

المنحنى المبين في الشكل (٧-٢٦) يبين خواص المخرج لدائرة مكبر ،حيث أن الترانزستور موصول بطريقة الباعث المشترك . ومناطق عمل الترانزستور ثنائي الوصلة هي ثلاث مناطق :

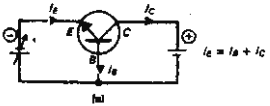
المنطقة الفعالة (Active region) ومنطقة القطع (Cut-off region) ومنطقة الإشباع (Saturation region) .



شكل (٧-٢٦)

ويستخدم الترانزستور في دوائر التكبير ويستخدم أيضاً كمفتاح لعمليات الوصل والفصل في الدوائر الكهربائية.

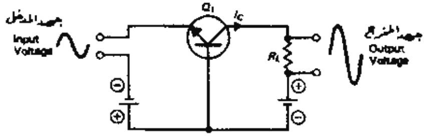
١-استخدام الترانزستور كمكبر:- الشكل (٧-٢٧) يبين دائرة ترانزستور $n-p-n$ بجعل مصدر التغذية في وصلة الباعث-القاعدة متغيراً . بما أن تيار القاعدة والمجمع يعتمدان على قيمة تيار الباعث فان أي زيادة في تيار الباعث تؤدي إلى زيادة في كل من تيار القاعدة وتيار المجمع والعكس صحيح .



شكل (٧-٢٧)

بمعـــنى آخر يمكن القول إن زيادة مصدر التغذية في وصلة الباعث –القاعدة تؤدي إلى زيـــادة عدد الإلكترونات في وصلة الباعث ، وبالتالي سوف يزداد تيار القاعدة I_B وبـــزيادة تيار القاعدة سوف يزداد تيار المجمع I_C ، وبتقليل جهد الباعث سوف يقل تـــيار المجمـــع وتـــيار القاعدة . وصلة الباعث – القاعدة تكون منحازة انحيازاً أمامياً وبالـــتالي مقاومتها منخفضة بينما وصلة المجمع –القاعدة تكون منحازة انحيازا عكسيا وبالـــتالي فـــان مقاومتها تكون مرتفعة وبإهمال المقاومة بين ديود الباعث وديود المجمع يمكـــن اعتبار تيار الباعث يـــاوي تيار المجمع $I_C \approx I_E$. والجهد الهابط على المقاومة الموصـــولة بين المجمع والقاعدة يعتمد على قيمة هذه المقاومة وعلى قيمة التيار المار من خلالهـــا . وبما أن الغاية من التكبير هي الحصول على جهد مرتفع فإنه يجب أن تكون قيمة مقاومة الخرج مرتفعة .

في دوائر التكبير إشارة المدخل المراد تكبيرها تطبق على ديود الباعث كما هو مبين في الشـــكل (٧-٢٨). وبـــزيادة الجهـــد المطبق على الباعث سوف يزداد تيار الباعث وبالتالي يزداد تيار المجمع ، مؤديا إلى زيادة هبوط الجهد على مقاومة الحمل R_L حيث $(V_L \alpha I_C)$ والعكس صحيح .



شكل (٧-٢٨)

وكملخص لما سبق فان أي تغير قليل في قيمة تيار الباعث I_E سوف يؤدي إلى تغير في قيمة I_C وبالتالي تغير كبير في قيمة الجهد الهابط على المقاومة R_L كون مقاومة الحمل ذات قيمة كبيرة ،سواء كان الجهد جهداً مباشراً أو متناوباً .

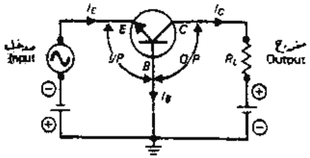
وبما أن الترانزستور المستخدم في عملية التكبير يكبر قيمة الدخل فإنه يجب أن يحافظ على نفس الشكل للموجة المكبرة .

ويمكن استخدام الترانزستور كمكبر للجهد وكذلك كمكبر للتيار .

تصنيف دوائر الترانزستور كمكبر :-

١-دائرة القاعدة المشتركة (Common Base):-وتستخدم عبارة المشترك من اجل بيان أي من أطراف الترانزستور هو المشترك بين المدخل والمخرج .

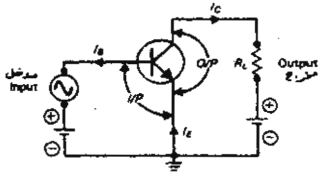
وفي هذه الحالة تكون القاعدة مشتركة بين المدخل والمخرج ، كما هو مبين في الشكل (٧-٢٩) . والدائرة عبارة عن مكبر جهد بمقاومة دخل منخفضة $(15-150\Omega)$ ومقاومة خرج مرتفعة $(250K\Omega-1M\Omega)$كسب التيار فيها اقل من الواحد ، وكسب القدرة فيها مرتفع $P\uparrow = V\uparrow . I\downarrow$ وبالتالي فان هذه الدائرة تكبر الجهد والقدرة .



شكل (٧-٢٩)

٢-دائرة الباعث المشترك (Common Emitter) :-

يكون الباعث مشتركاً بين الدخل والخرج وديود الباعث منحازا انحيازا أماميا وديود المجمع منحازا انحيازا عكسيا، كما هو مبين في الشكل (٧-٣٠) .



شكل (٧-٣٠)

إشارة المدخل I_B تتحكم في القاعدة بدلا من الباعث ويكون $I_E = I_C + I_B$.

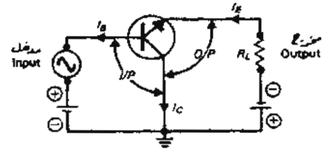
أي تغير في قيمة I_B سوف يؤدي إلى تغير في قيمة I_C, I_E .

إشارة الدخل تتحكم بتيار قليل I_B وتعطي تيار خرج كبيراً I_C .

ويمكــن استخدام هذه الدائرة لتكبير الجهد والتيار وهي تعطي نسبة تكبير عالية اكثر من الدوائر الأخرى لان القدرة تزداد بازدياد التيار والجهد $P\uparrow = V\uparrow . I\uparrow$ ومقاومة الدخل لها ($500\Omega - 100K\Omega$) ومقاومة الخرج لها $(5K\Omega - 500K\Omega)$.

٣-دائرة المجمع المشترك (Common Collector) :-

نطــبق إشــارة الدخـــل على قاعدة الترانزستور وتعمل على زيادة أو إنقاص الانحياز الأمامي لديود الباعث ، كما هو مبين في الشكل (٧-٣١) .



شكل (٧-٣١)

أي تغير في I_B سوف يؤدي إلى تغير في تيار الباعث وتيار المجمع . تيار خرج الباعث اكبر من تيار الدخل للقاعدة وهذه الدائرة تعطي اكبر كسب للتيار.

ديــود وصلة الباعث – القاعدة هو دائما منحاز انحيازا أماميا وله هبوط جهد مقداره $V(0.6 \to 0.7)$ للترانزســتور المصــنوع مــن مادة السيليكون و $V(0.3 \to 0.2)$ للترانزســتور المصــنوع من مادة الجرمانيوم . وكسب التيار يؤدي إلى كسب قدرة وكسب القدرة لهذه الدائرة هو الأقل حيث $P\uparrow = V\downarrow . I\uparrow$.

مقاومــة الدخل لهذه الدائرة مرتفعة $2K\Omega - 500K\Omega$ حيث تكون هذه المقاومة بين وصلة المجمع –القاعدة وهي منحازة انحيازا عكسيا وبالتالي قيمتها مرتفعة .

مقاومة الخرج لهذه الدائرة منخفضة $(25 - 1500\Omega)$ اعتمادا على تيار الباعث المرتفع في مخرج الدائرة .

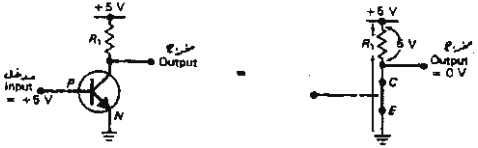
عمل الترانزستور كمفتاح :–

الترانزستور يمكن أن يعمل في إحدى الحالتين إما في حالة التوصيل أو الفصل وبالتالي يعطي حالتين للعمل في النظام الرقمي وهي $(1,0)$ وهي منطق منخفض (0) ، أو منطق مرتفع (1) .

من اجل توضيح هذه العملية نأخذ ترانزستوراً من نوع $(n - p - n)$،حيث يكون هذا الترانزستور في وضع ON أو في وضع **Cut-off** .

١–الحالة الأولى:–

كما هو مبين في الشكل (٧–٣٢) وعند تطبيق جهد على قاعدة الترانزستور بحدود $5V$ و بما أن الباعث جهده يساوي الصفر فان وصلة $p - n$ بين القاعدة والباعث تحتاج إلى جهد مقداره $0.7V$ لتوصل وتحول الترانزستور إلى وضع ON وبما أن الجهد المطبق على هذه الوصلة يساوي $5V$ بانحياز أمامي $V_{BE} = 5V$بالتالي فان الترانزستور في هذه الحالة يكون في حالة توصيل ويكون في وضع الإشباع (**Saturation**).



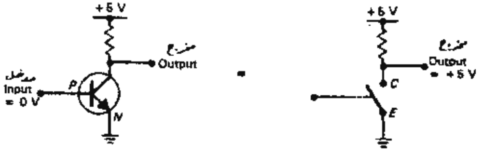
شكل (٧-٣٢)

وعندما يصل الترانزستور إلى حد الإشباع فان مقاومة الباعث - المجمع تكون قليلة جدا ويمر تيار كبير في هذه الحالة .

الحمل الموصول مع المقاومة الصغيرة للترانزستور يكون جهده قريباً من الصفر لان الجهد يكون مطبقا على المقاومة R_1 ويكون الترانزستور في هذه الحالة مكافئا لمفتاح مغلق (**Closed Switch**) .

٢-الحالة الثانية :-

عندما يكون جهد القاعدة مساوياً الصفر ، كما هو مبين في الشكل (٧-٣٣) ، وبالتالي فإنه لا يوجد جهد على وصلة الباعث -القاعدة $V_{BE} = 0$ فان الترانزستور يكون في حالة القطع (**Cut-off**) .

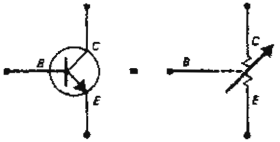


شكل (٧-٣٣)

وفي هذه الحالة تكون مقاومة الباعث- المجمع كبيرة جدا والتيار المار يساوي الصفر ولا يوجد فرق جهد على طرفي المقاومة R_1 .

ويطبق الجهد V_{CC} بالكامل على الحمل . ويكون الترانزستور في هذه الحالة مكافئاً لمفتاح مفتوح (Open Switch).

وعند استخدام الترانزستور كمنظم للجهد بمقاومة متغيرة يستخدم جهد القاعدة للتحكم بالترانزستور عن طريق تغيير قيمة المقاومة على مخرج الترانزستور بين حالتي الفصل والوصل ، كما هو مبين في الشكل (٧-٣٤).



شكل (٧-٣٤)

ترانزستور تأثير المجال ((Field Effect Transistor (FET):-

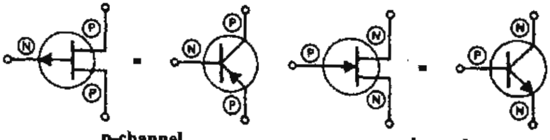
ينقسم هذا الترانزستور الى نوعين هما :-

١- ترانزستور تأثير المجال ذو القناة السالبة (n-channel) .

٢- ترانزستور تأثير المجال ذو القناة الموجبة (p-channel) .

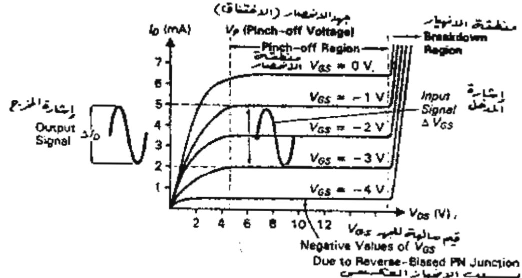
ويستخدم من اجل الحصول على جهد مرجعي بواسطة تثبيت التيار .

والشكل (٧-٣٥) يبين الرمز لكلا النوعين :-



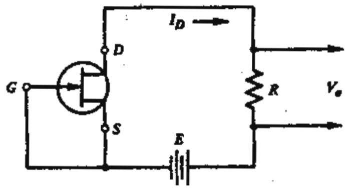
شكل (٧-٣٥)

ويـــتألف هـــذا الترانزستور من ثلاثة أطراف : منبع (Source) و مصرف (Drain) وبوابة (Gate) . ومنحنى الخصائص لهذا الترانزستور مبين في الشكل (٧-٣٦) .



شكل (٧-٣٦)

عـــند وصل المنبع والبوابة مع الطرف السالب لمصدر التغذية كما هو مبين في الشكل (٧-٣٧) ، تزداد منطقة الاختناق وعند الوصول إلى جهد الاختناق فان التيار يبقى ثابـــتاً بزيادة الجهد حتى الوصول إلى جهد الانهيار حيث يزداد التيار بشكل كبير كما هو واضح من منحنى خصائص هذا الترانزستور المبين في الشكل (٧-٣٦) .



شكل (٧-٣٧)

طريقة استخدام جهاز قياس المقاومة لفحص الترانزستور والتأكد من صلاحيته ،
الخطوات التالية مناسبة لفحص ترانزستور من نوع $(n-p-n)$:-

١-نختار تدريج جهاز القياس بمقاومة قليلة .

٢-نوصل الطرف السالب لبطارية جهاز القياس مع قاعدة الترانزستور .

٣-نلامس الطرف الآخر (موجب البطارية) لجهاز القياس مع كل من :-

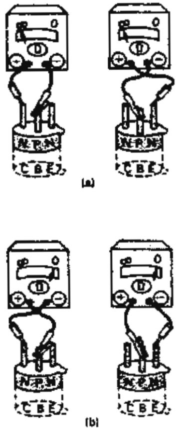
المجمع :-في هذه الحالة يجب أن تكون قيمة المقاومة عالية .
إذا كانت قيمة المقاومة قليلة يكون الترانزستور في حالة قصر (Short Circuit) .
-الباعث :-في هذه الحالة يجب أن تكون قيمة المقاومة عالية .

٤-نوصل الطرف الموجب لبطارية جهاز القياس مع قاعدة الترانزستور .
نلامس الطرف الآخر لجهاز القياس مع كل من :-
-المجمع :-في هذه الحالة يجب أن تكون قيمة المقاومة قليلة .
-إذا كانت قيمة المقاومة عالية يكون الترانزستور في حالة الفصل (Open Circuit) .
-الباعث:-في هذه الحالة يجب أن تكون قيمه المقاومة منخفضة .

٥-إذا لم يتم الحصول على قيم المقاومات المشار اليها أعلاه يكون الاختيار للقاعدة غير صحيح وبالتالي يستبدل به طرف آخر وتعاد الخطوات السابقة .

هذا ، ويمكن استخدام الخطوات السابقة (من ١-٥) لفحص ترانزستور من نوع $(p-n-p)$ ، وعندئذ يتم الحصول على نتائج معاكسة (أي الحصول على مقاومة قليلة في الخطوة رقم ٣ والحصول على مقاومة كبيرة في الخطوة رقم ٤) .

الخطوات السابقة ملخصة في الجدول (٧-١) مع الشكل المرفق ، وذلك بالنسبة لترانزستور من نوع $(n-p-n)$.



(a)

(b)

الخطوة Step	الفعل Action	النتيجة Result if OK
1	اختر مدى مقاومة منخفضة Select Low Resistance Range	
2	صل ⊖ بطارية الجهاز بالقاعدة Connect ⊖ of Ohmmeter to Base	
3	صل ⊕ بطارية الجهاز بكل من : With ⊕ of Ohmmeter, Probe المجمع Collector الباعث Emitter (If a Low Ω Reading Results from Step 3, Respective Collector or Emitter Diode Is Shorted) عند الحصول على قيم منخفضة للمقاومة ... حالة قصر	 مقاومة عالية مقاومة عالية
4	صل ⊕ الجهاز بالقاعدة Connect ⊕ of Ohmmeter to Base	
5	صل ⊖ بطارية الجهاز بكل من : With ⊖ of Ohmmeter, Probe المجمع Collector الباعث Emitter (If a High Ω Reading Results from Step 5, Respective Collector or Emitter Diode Is Open) عند الحصول على قيم عالية للمقاومة ... حالة فتح	 مقاومة منخفضة مقاومة منخفضة

جدول (٧-١)

طريقة فحص الترانزستور لتحديد نوعه $(n-p-n)$ أو $(p-n-p)$:-

١-نختار طرف القاعدة ونوصل معه الطرف السالب لبطارية جهاز القياس .

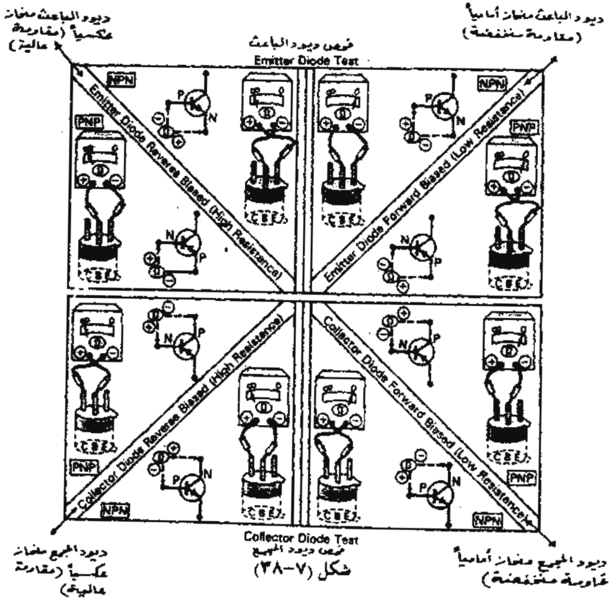
٢-نلامس الطرف الموجب لبطارية جهاز القياس مع الطرفين الآخرين .

إذا تم الحصول على مقاومة صغيرة في كلا الحالتين يكون الترانزستور من النوع $p-n-p$. ويكون الباعث في العاده هو الطرف القريب من الطرف المعدني والمجمع هو الطرف الآخر .

٣-إذا كانت القراءة مرتفعة في كلا الحالتين فإن الترانزستور يكون من النوع $n-p-n$.

٤-إذا لم يتم الحصول على القيم السالفة الذكر للمقاومة فان الطرف المختار لا يمثل القاعدة ، ويتم اختيار طرف القاعدة وتعاد الخطوات السابقة .

والشكل (٧-٣٨) يبين مختلف الطرق لفحص الترانزستور وتحديد نوعه .



شكل (٧-٣٨)

ترانزستور أحادي الوصلة (UJT) (Unijunction Transistor) :-

هـــذا النوع من الترانزستورات لا يصلح لتكبير الإشارة لوجود مقاومة سالبة فيه ويستعمل كمذبذب لتوليد الإشارة .

يخـــتلف الترانزستور أحادي الوصلة (UJT) عن الترانزستور العادي (BJT) وكذلك عن ترانزستور تأثير المجال (FET) من حيث التركيب والخواص والاستخدامات .

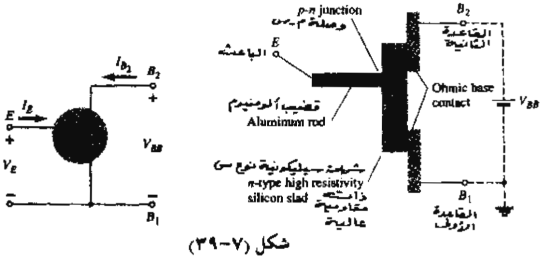
فهـــو يتكون من شريحة سيليكونية من النوع السالب (N-Type) ذات نسبة شوائب منخفضـــة ، وتســـمى هذه الشريحة القاعدة (Base) ، ويتصل بكل نهاية من نهايتيها موصل .

ويعرف الموصل الأول بالقاعدة الأولى (B_1) والموصل الآخر بالقاعدة الثانية (B_2) .

وبالقـــرب من منتصف الشريحة يتم شبك سلك من الألومنيوم يشكل الطرف الثالث للترانزستور والذي يسمى الباعث أو المشع (Emitter) .

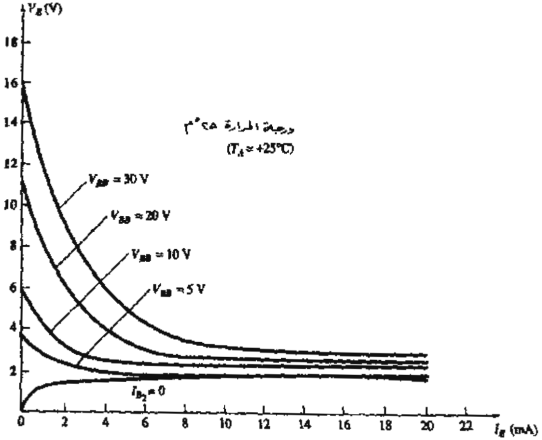
ويســـمى هـــذا الترانزســـتور أحـــادي الوصلة (Unijunction Transistor) أو ترانزستور القاعدة المزدوجة (Double Base Transistor) .

ويبين الشكل (٧-٣٩) تركيب الترانزستور أحادي الوصلة ورمزه الكهربائي .



شكل (٧-٣٩)

ملاحظة : المنحنى المميز لهذا الترانزستور يبين العلاقة بين فرق جهد الباعث V_E وتيار الباعث I_E عند قيم مختلفة لفرق الجهد V_{BB} ، كما هو مبين في الشكل (٧-٤٠) .



شكل (٧-٤٠)

- عـــندما يكـــون V_{BB} صفراً ، فان تيار القاعدة الثانية I_{B2} يكون صفراً ، وبذلك تكون العلاقة بين V_E و I_E كالعلاقة بين فرق الجهد والتيار في ديود سيليكوني .
- قبل توصيل انحياز أمامي على الباعث تكون المقاومة بين القاعدة الأولى والقاعدة الثانية (المقاومة البينية للقاعدة Inter -base Resistance) في حدود بضعة كيلو اوم $(r_{BB} = 5\ K\Omega - 10\ K\Omega)$ نظراً لقلة نسبة الشوائب في القاعدة .

– عند تسليط انحياز أمامي على الباعث يتم حقن فجوات في القاعدة .

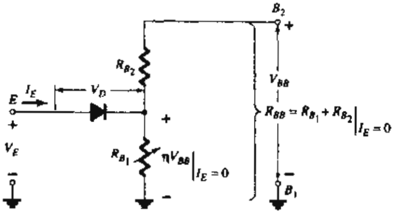
وللمحافظة على اتزان الشحنات في القاعدة فإن إلكترونات تسحب من القطب السالب للبطارية V_{BB} إلى القاعدة B_1 .

– تؤدي هذه العملية إلى نقصان قيمة المقاومة بين الباعث والقاعدة الأولى ويقل كذلك فرق الجهد بينهما V_{EB1} .

$$V_{EE} = R_E \times I_E + V_{EB1}$$

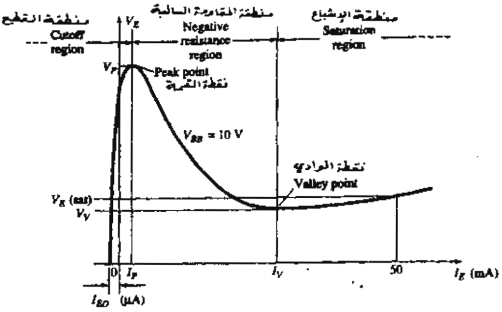
ونظـــراً لأن V_{EE} ثابت ، فإن نقصان V_{EB1} سيؤدي إلى زيادة التيار I_E ، حيث تظهـــر هـــنا المقاومـــة السالبة (Negative Resistance) . وبعدها يصبح حقن الفجـــوات داخـــل القاعدة غزيراً لدرجة تهبط معها المقاومة بين الباعث والقاعدة الأولى إلى حوالي $20\ \Omega$ أو أقل ، وتسمى هذه الحالة حالة التشبع .

هذا ومن الممكن رسم دائرة مكافئة لترانزستور (UJT) كما في الشكل (٧–٤١)،



شكل (٧–٤١)

والمنحنى المميز لهذا الترانزستور مبين في الشكل (٧–٤٢) .



شكل (٧-٤٢)

وتقسم مناطق العمل لهذا الترانزستور إلى :

أ- منطقة القطع : في هذه المنطقة يكون فرق الجهد المسلط بين الباعث والقاعدة الأولى V_{EB1} غير كاف .

وفي هذه الحالة يكون التيار I_E قليلاً جداً (بالمايكرو امبير) . ويعتبر هذا التيار سالباً لأن فرق الجهد بين الباعث والقاعدة الأولى لا يكون كافياً لتأمين الانحياز الأمامي اللازم بين الباعث والقاعدة الأولى ، وبذلك لا يتم حقن فجوات في القاعدة .

ب- منطقة المقاومة السالبة : في هذه المنطقة يزداد تيار الباعث نظراً لقلة المقاومة بين الباعث والقاعدة الأولى ، ويقل فرق الجهد بين الباعث والقاعدة الأولى . ويعني ذلك أن المقاومة الديناميكية للترانزستور تكون سالبة . وخاصية المقاومة السالبة في ترانزستور (UJT) لا تجعله مستخدماً في التكبير كالترانزستورات العادية وترانزستورات تأثير المجال ، بل يستخدم ترانزستور (UJT) في توليد الذبذبات .

ج- منطقة التشبع : تسمى النقطة عند نهاية منطقة المقاومة السالبة نقطة الوادي (Valley Point) ، وبعدها يزداد حقن الثقوب (الفجوات) في القاعدة بدرجات كبيرة وتهبط المقاومة بين الباعث والقاعدة الأولى إلى قيم قليلة جداً . وكما يتضح من المنحنى فإن المقاومة الديناميكية للترانزستور في هذه المنطقة تكون موجبة .

٣-الثايرستورات (Thyristors) :-

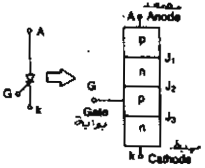
اشــتقت تسمية الثايرستور من كلمة إغريقية معناها "باب" وذلك لان هذه الأداة المصــنوعة مــن المواد شبه الموصلة تستخدم مفتاحاً إلكترونيا له أهميته الكبيرة في الســيطرة على الأجهزة ذات القدرة العالية والتحكم بعملها ، وفي بعض الأحيان يسمى الثايرستور الديود رباعي الطبقات حيث يصنع من مادة شبه موصلة رباعية الطبقات $(p-n-p-n)$.

مجموعة الثايرستورات (Thyristor Family) :-

الثايرســتورات هــي مجموعــة تضم عدداً من عناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة بشــكل واســع في دوائر التحكم والتقويم وتضم هذه المجموعة عدداً من العناصر من أهمها :

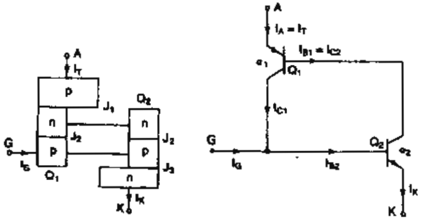
٣-١-المقوم السيليكوني المحكوم أو المقاد (Silicon-Controlled Rectifier SCR):-

وهــو عــبارة عــن عنصر رباعي الطبقات ثلاثي الأطراف ، أطرافه يرمز لها بالأحرف $(G),(K),(A)$ وهي البوابة والمهبط والمصعد ، كما يبين الشكل (٧-٤٣) رمز وتركيب هذا العنصر :-



شكل (٧-٤٣)

ومــن الممكن تحليل عمل الثايرستور من خلال فلقه إلى ترانزستورين أحدهما من نوع (pnp) والآخر من نوع (npn) كما هو مبين في الشكل (٧-٤٤) .



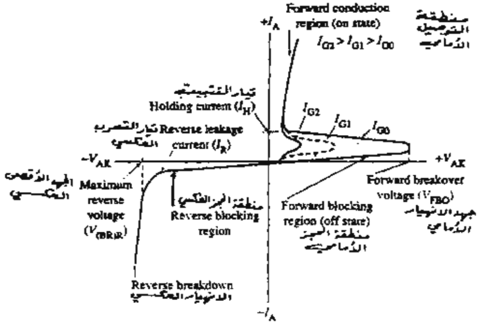
شكل (٧-٤٤)

مبدأ عمل المقوم السيليكوني المقاد (SCR) :-

يمكـــن اعتـــبار المقوم السيليكوني المقاد وكأنه مؤلف من ثلاثة ديودات تؤلف ثـــلاث وصـــلات هـــي J_3, J_2, J_1 . إذا كان المصعد موجبًا بالنسبة للمهبط أي أن الوصـــلة J_2 منحازة انحيازا عكسيا فانه في هذه الحالة سوف يمر تيار قليل بين المصعد والمهـــبط يدعـــى تيار التسريب ويقال في هذه الحالة إن الثايرستور (SCR) في حالة القطع الأمامي (Forward blocking State) أو في حالة القطع (Off-State). إذا كـــان المهبط موجبا بالنسبة للمصعد فان الوصلات J_3, J_1 في حالة انحياز عكسي وفي هـــذه الحالـــة ســـوف يمـــر تيار تسربي عكسي من المهبط إلى المصعد من خلال الثايرستور وفي هذه الحالة يقال إن الثايرستور (SCR) في حالة القطع العكسي . (Reverse Blocking State)

إذا تمت زيادة الجهد بشكل تدريجي في حالة القطع الأمامي فان وصلة الانحياز العكسي J_2 ســـوف تـــنهار اعتمادا على زيادة الجهد على تلك الطبقة حيث تزداد حاملات الشحنات في هذه الحالة .

وبمـا أن الوصلتين J_3, J_1 في حالة انحياز أمامي ،ففي هذه الحالة سوف يكون هنالك حركة لحاملات الشحنة خلال الطبقات الثلاث مما يؤدي إلى مرور تيار كبير من المصـعد إلى المهبط يدعى التيار الأمامي I_T ويكون هبوط الجهد V_T عبر العنصر هو هبوط جهد اومي عبر الطبقات الأربع للثايرستور ويكون الثايرستور في هذه الحالة في حالـة التوصيل (Conducting-State) أو (On-State) ، كما هو مبين من منحنى خصائص (SCR) المبين في الشكل (٧-٤٥):-



شكل (٧-٤٥)

ويتم تحديد قيمة التيار بالاعتماد على الممانعة الخارجية (مقاومة خارجية).

إذا تم تخفيض جهد وصلة المصعد- المهبط فان الثايرستور يبقى في حالة التوصيل حيث في هذه الحالة لا يوجد حاملات شحنة في الوصلة J_2 .

عـنـدما يصل التيار الأمامي إلى قيمة اقل من التيار الحافظ I_H (Holding Current) فان حاملات الشحنة تبدأ في الظهور في الطبقة J_2 ويعود الثايرستور في هذه الحالة إلى حالة القطع .

وعـــندما يكـــون الثايرستور في حالة التوصيل فان التيار الأمامي يكون اكبر من قيمة تدعى تيار الإمساك (Latching-Current) (I_L) وهذا ضروري من اجل تامين عـــدد حاملات الشحنة التي تنتقل من خلال الوصلات وعكس ذلك فان الثايرستور سوف ينتقل إلى وضع القطع في حالة انخفاض جهد الوصلة (مصعد- مهبط) .

والتيار الحافظ اقل من تيار الإمساك وقريب منه وهو بحدود (mA) .

يكـــون الثايرســـتور (SCR) منحازا انحيازا عكسيا عندما يكون المهبط موجبا بالنسبة للمصعد . ففي هذه الحالة يتصرف الثايرستور كديودين موصولين على التوالي ومطبق علـــيهما جهـــد انحياز عكســي.وفي حالة الانحياز الأمامي فان الوصلة J_2 تكون اكبر سماكة من مجموع سماكة الطبقتين J_3, J_1 في حالة الانحياز العكسي .

الجهـــد V_{FBO} وهو جهد الانهيار الأمامي يكون اكبر من $V_{(BR)R}$ وهو جهد الانهيار العكسي ، وتيار الانهيار الأمامي (عند جهد الانهيار الأمامي) يرمز له بالرمز I_B .

مما سبق يمكن تلخيص عمل الثايرستور على النحو التالي :-

١-للثايرستور (SCR) حالتا عمل هما Off-State و On-State.

٢-التحويل من Off-Stateإلى On-State يدعى Turn-On ويتم ذلك بزيادة جهد الانحياز الأمامي إلى قيمة اقل من V_{FBO}.

٣-الـــتحويل من On-State إلى Off-State يدعى Turn-Off ويتم ذلك بتقليل قيمة التيار إلى قيمة اقل من (Holding Current) (I_H) .

٤-وهـــنالك طريقة اسهل لتحويل الثايرستور من حالة إلى أخرى وذلك بالتحكم في بوابة الثايرستور.وتدعى هذه الطريقة التحكم بالبوابة (Gate-Control).

وفي حـــال تطبيق جهد أمامي اقل من V_{FBO} على الثايرستور فإنه يمكن تحويله إلى حالة الوصل بتطبيق جهد موجب بين البوابة والمهبط .

ويمتاز الثايرستور بأنه يمكن تحويله من وضع إلى آخر ، ويمتاز كذلك بالثبات في الحالة التي يكون فيها ويمتاز أيضا بسرعة التحويل من وضع إلى آخر وبضياعات مهملة .

ويستخدم الثايرستور في التطبيقات التالية :-

١- التحكم بسرعة محركات التيار المتناوب والتيار المستمر .

٢- أجهزة التحكم بدرجات الحرارة .

٣- دوائر التوقف وفرملة آلات التيار المتناوب والتيار المستمر .

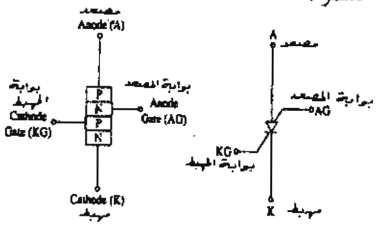
٤- دوائر التحويل من التيار المستمر إلى التيار المتناوب بترددات مختلفة .

٥- دوائر العاكس ، أي التحويل من جهد ثابت إلى جهد متغير .

٦- دوائر التقويم المحكوم .

٣-٢- مفتاح التحكم السيلكوني (**Silicon-Controlled Switch (SCS)**) :-

وهذه العناصر تشبه المقوم السيلكوني المقاد ولكنها تحتوي على بوابتين ويمكن أن تتحول من حالة إلى أخرى بواسطة أي من البوابتين. والشكل (٧-٤٦) يبين رمز وتركيب هذا العنصر :-

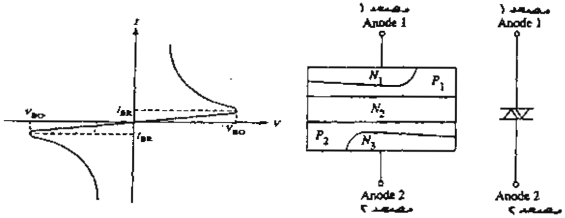


شكل (٧-٤٦)

مـبدأ العمـل للمفتاح السيليكوني المحكوم :- يتحول هذا المفتاح إلى حالة التوصـيل عند تسليط نبضة سالبة على بوابة الأنود أونبضة موجبة على بوابة الكاثود وجهـد موجب على الأنود وجهد سالب على الكاثود، ويتحول إلى حالة الفصل عند تسليط نبضات متعاكسة.

٣-٣- الديـاك (Diac) :- وهو عنصر رباعي الطبقات ثنائي الأطراف يرمز لطرفيه $(A_1),(A_2)$، وهو يوصل التيار بالاتجاهين ويستخدم لقدح الترياك .

والشـكل (٧-٤٧) الشكل التالي يبين الرمز الكهربائي والتركيب والخواص للدياك :-



شكل (٧-٤٧)

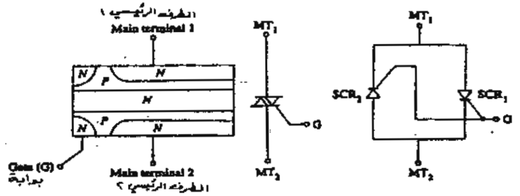
مـبدأ العمـل للدياك:- يتحول الدياك إلى حالة التوصيل عندما يزيد الجهد المطبق عليه عن جهد الانهيار (V_{BO}) بغض النظر عن كيفية توصيل أطراف المصدر مع طرفي الدياك .

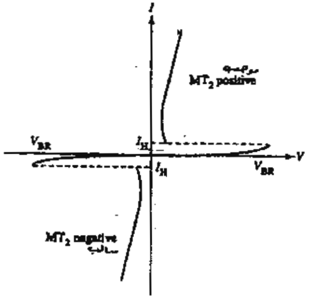
ويـتحول الديـاك إلى حالة القطع عندما يقل التيار المار من خلاله عن التيار الحافظ (I_H).

٣-٤- الترياك (Triac):-

هو عبارة عن عنصر رباعي الطبقات له ثلاثة أطراف هي الأنود الأول والأنود الثاني والبوابة $(MT_1),(MT_2),(G)$ ويمرر التيار باتجاهين وهو عبارة عن ثايرستورين موصولين على التوازي بشكل متعاكس.

الشكل (٧-٤٨) يبين التركيب والرمز الكهربائي للترياك.





شكل (٧-٤٨)

مبدأ العمل للترياك:- يتحول إلى حالة التوصيل بتطبيق نبضة على البوابة.

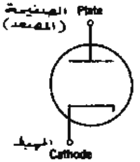
٤-الصمامات (Valves):-

هـي عناصـر إلكترونـية كانت شائعة الاستخدام في السابق قبل أن تحل محلها العناصر الإلكترونية المصنعة من المواد شبه الموصلة .

مـبدأ عمـلها يعتمد على ظاهرة الانبعاث الإلكتروني الحراري وهي انطلاق إلكـترونات من مهبط الصمام (Cathode) بفعل التسخين ويعتمد عدد الإلكترونات المـنطلقة مـن المهـبط على درجة الحرارة ، وتشكل هذه الإلكترونات التيار المار في الصمام . وتصنف الصمامات إلى عدة أصناف :-

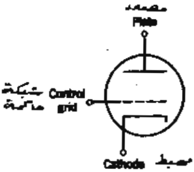
١-الصمام الثنائي(Diode Valve):-

وهـو عبارة عن غلاف زجاجي مفرغ من الهواء وبداخلة قطبان هما المصعد(Anode) والمهـبط (Cathode) ، كمـا هو مبين في الشكل (٧-٤٩) ، والصمام الثنائي يمرر التـيار باتجـاه واحـد (عندما يوصل المصعد بالقطب الموجب لبطارية ويوصل المهبط بالقطب السالب لها) ، ويمنع مرور التيار في الاتجاه المعاكس .لذلك يستخدم الصمام الثنائي في تقويم (توحيد) التيار المتردد AC لتحويله إلى تيار مباشر DC .



شكل (٧-٤٩)

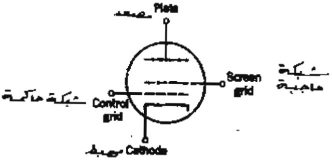
٢-الصمام الثلاثي(Triode Valve) :- يتألف من المصعد والمهبط والشبكه الحاكمة (Control Grid) ، كما هو مبين في الشكل (٧-٥٠) .



شكل (٧-٥٠)

يطبق على الشبكة الحاكمة جهد سالب بحيث تعمل على التحكم بالتيار المار من المهبط إلى المصــعد ، ويســتعمل الصمام الثلاثي بشكل أساسي في توليد وتكبير الإشارات المترددة .

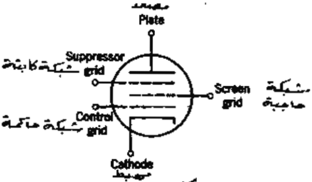
٣-الصـــمام الـــرباعي (Tetrode Valve):- يــتألف من المصعد والمهبط والشبكة الحاكمــة والشبكة الحاجبة (Screen Grid) ، كما هو مبين في الشكل (٧-٥١) ، ووظيفة الشبكة الحاجبة هي حجب تأثير المصعد على الشبكة الحاكمة .



شكل (٧-٥١)

٤-الصـــمام الخماســـي (Pentode Valve):- يــتألف من المصعد والمهبط والشبكه الحاكمــة والشبكة الحاجبة والشبكة المخمدة (الكابتة) (Suppressor Grid) ، كما هو مبين في الشكل (٧-٥٢) .

ووظيفة الشبكة الكابتة هي منع انبعاث الإلكترونات من المصعد نتيجة اصطدام الإلكترونات القادمة من المهبط به في ظاهرة تسمى الانبعاث الثانوي (**Secondary Emission**) .

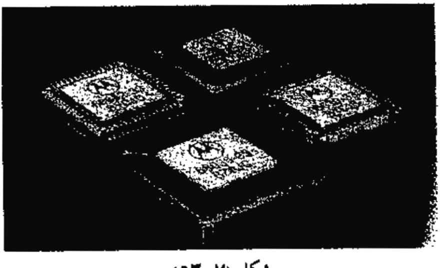


شكل (٧-٥٢)

٥-الدوائر المتكاملة (**Integrated Circuits**):- وهي عبارة عن دوائر إلكترونية تحتوي بداخلها على جميع العناصر الإلكترونية المستخدمة في الدوائر الكهربائية من ترانزستورات وديودات ومقاومات ومكثفات ...الخ .

وقد تطورت صناعة الدوائر المتكاملة في الآونة الأخيرة ، حيث أصبحت تحل نسبة كبيرة من الأجهزة الإلكترونية . ونظراً لصغر حجم الدوائر المتكاملة فإنه من غير الممكن إصلاحها إذا ما تعطلت ، لذا يتم تبديلها .

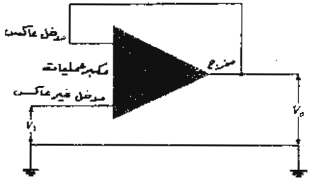
والشكل (٧-٥٣) يبين بعض انواع الدوائر المتكاملة .



شكل (٧-٥٣)

٦- المكــبرات (**Amplifiers**) :- المكــبر هو عنصر يقوم بتكبير الإشارة المطبقةعلى مدخله وتحويلها إلى إشارة مكبرة على المخرج.

والشــكل (٧-٥٤) يــبين رمز المكبر الذي يسمى مكبر العمليات (**Operational Amplifier**) أو اختصاراً (**Op-amp**) .



شكل (٧-٥٤)

في الدوائــر العملــية للمكــبرات فإن المكبر يحتوي على عناصر فعالة ومصدر جهد مســتمر، الإشــارة المارة من خلال العنصر الفعال يتم تحويلها إلى جهد على مقاومة الحمل، والمكبر يمكن أن يعطي كسباً في الجهد أو كسباً في التيار أو كسباً في القدرة.

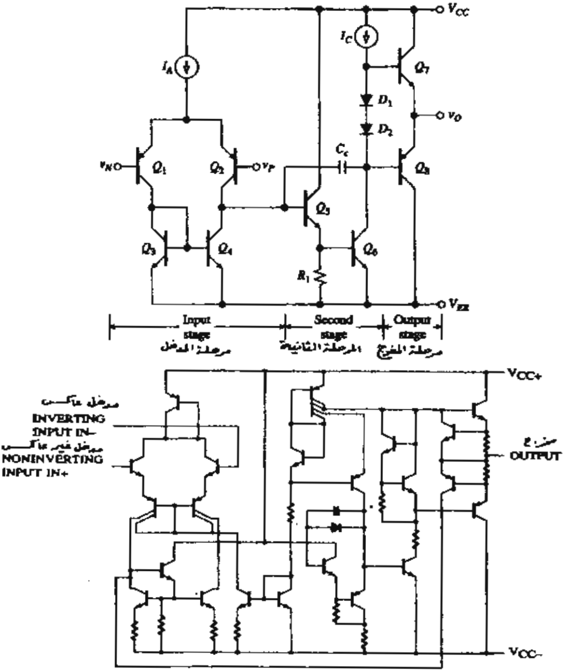
ومعاملات الكسب للمكبرات تعطى بالعلاقات التالية :-

١. كسب التيار:- $A_i = \frac{I_{out}}{I_{in}}$

٢. كسب الجهد :- $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

٣. كسب القدرة :- $A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}}$

الشكل (٧–٥٥) يبين الدوائر العملية لبعض أنواع المكبرات .



شكل (٧–٥٥)

أسئلة

٧-١- ارســـم دائـــرة توحيد نصف موجة وبين لماذا هذه الدائرة ليست ذات مغزى عملي.

٧-٢- ارسم دائرة توحيد موجة كاملة باستخدام ديودين.

٧-٣- ارسم دائرة توحيد موجة كاملة باستخدام أربع ديودات.

٧-٤- لماذا سمي الموحد السيليكوني المقاد SCR بهذا الاسم ؟

٧-٥- وضح تركيب SCR ، وارسم رمزه ومنحنى الخصائص V-I له.

٧-٦- ماذا نعني بكل من حالة القطع الأمامي والقطع العكسي (Forward and Reverse State) للثايرستور ؟

٧-٧- ماذا نعني بتيار الحفظ وتيار الامساك (Holding Current and Latching Current) ؟

٧-٨- ارسم الدائرة المكافئة للثايرستور SCR باستخدام الترانزستور.

٧-٩- ارسم رمز الثايرستور SCR ومنحنى الخصائص له .

٧-١٠- ما وظيفة البوابة Gate في SCR ؟

٧-١١- اشرح كيف يعمل SCR.

٧-١٢- ما هو الدياك DIAC ؟ وماذا تعني الكلمة بالمفهوم العلمي؟

٧-١٣- ارسم الرمز والتركيب ومنحنى الخصائص V-I للدياك .

٧-١٤- اذكر مجالات الاستخدام للدياك .

٧-١٥- قارن بين BJT و DIAC.

٧-١٦- ما هو الترياك TRIAC ؟ وما هو أصل هذه الكلمة ؟

٧-١٧- ارسم الرمز ومنحنى الخصائص للترياك.

٧-١٨- ارسم الدوائر الأساسية للترانزستور .

٧-١٩- ما أنواع النواقل في الترانزستور ؟

٧-٢٠- اذكر أنواع الترانزستور ثنائي القطبية **Bipolar Transistor**.

٧-٢١- ارسم رمز الترانزستور **BJT**.

٧-٢٢- حدد أطراف الترانزستور **BJT** وبين أيها يستخدم في تشغيل الترانزستور.

٧-٢٣- ما الفرق بين عمل الترانزستور كمفتاح وعمله كمكبر؟

٧-٢٤- عرف بلورة الجرمانيوم (أو السيليكون) النقية والمطعمة بالشوائب.

٧-٢٥- اذكر أنوع البلورات شبه الموصلة المطعمة بالشوائب .

٧-٢٦- ما هو الديود ؟ وارسم رمزه **SYMBOL**.

٧-٢٧- ما أنواع النواقل في أشباه الموصلات؟

٧-٢٨- ما هي النواقل الأقلية **Minority carriers**؟

٧-٢٩- ما المقصود بانحياز الديود ؟ وما هو الانحياز الأمامي ؟

٧-٣٠- ماذا يحدث لمنطقة الاستنزاف **depletion region** في حالة الانحياز الأمامي والعكسي ؟

٧-٣١- اذكر ميزات الديودات السيليكونية على الصمامات الثنائية المفرغة .

٧-٣٢- ارسم الصمام الخماسي واذكر أجزاءه على الرسم.

٧-٣٣- قارن بين الصمام الرباعي والخماسي.

الوحدة الثامنة

البوابات المنطقية

بوابة (و) AND .

بوابة (أو) OR .

بوابة (لا) أو العاكس NOT .

بوابة (لا/و) NAND .

بوابة (لا/أو) NOR .

بوابة عكس أحد المداخل .

بوابة (استثناء/أو) XOR .

النطاطات Flip-Flops .

العدادات Counters .

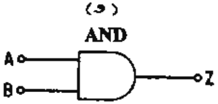
الوحدة الثامنة

البوابات المنطقية Logic Gates

البوابات هي عبارة عن مفاتيح إلكترونية معقدة تحتوي على عناصر إلكترونية مختلفة، وتستخدم في النظام الثنائي ويمكن الحصول على تتابع عمليات معقد نتيجة وصل البوابات مع بعضها .

أنواع البوابات المنطقية المستخدمة في الجبر الثنائي:-

١-بوابة (و) (AND) :-وهي بوابة ذات مدخلين أو اكثر ومخرج واحد ويرمز لها بالرمز المبين في الشكل (٨-١) :-



$Z = A \cdot B$

شكل (٨-١)

حيث A,B مدخلا البوابة و Z هو مخرج البوابة .

والعملية المنطقية لعمل البوابة تعطى بالعلاقة :

$$Z = A.B = A \text{ and } B$$

A, B, Z هي عبارة عن عناصر ثنائية الحالة تأخذ أحد الوضعين :إما منطق مرتفع 1 أو منطق منخفض 0 .

ومخرج بوابة (و) يكون في وضع منطق مرتفع 1 في حالة وحيدة فقط وهي عندما يكون كلا المدخلين في وضع منطق مرتفع 1 .

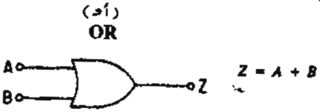
والجدول (٨-١) يبين جدول الحقيقة لبوابة (و) ذات مدخلين ومخرج واحد :-

A	B	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

جدول (٨-١)

٢-بوابة (أو) (OR) :-

وهي بوابة ذات مدخلين أو اكثر ومخرج واحد ويرمز لها كما هو مبين في الشكل (٨-٢):-



شكل (٨-٢)

حيث A, B هما مدخلا البوابة و Z هو مخرج البوابة .

والعملية المنطقية لعمل البوابة تعطى بالعلاقة :-

$$Z = A + B = A \text{ or } B$$

ومخرج هذه البوابة يكون في وضع منطق منخفض 0 في حالة واحدة فقط عندما يكون كلا المدخلين في وضع منطق منخفض 0 .

والجدول (٨-٢) يبين جدول الحقيقة لبوابة (أو) ذات مدخلين ومخرج واحد :-

A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

جدول (٨-٢)

٣-بوابة (لا) (Not) أو العاكس (Inverter):-

وهي بوابة ذات مدخل واحد ومخرج واحد ، وتقوم بإعطاء حالة منطقية على مخرجها تعاكس الحالة المنطقية المطبقة على مدخلها .

ورمزها مبين في الشكل (٨-٣):-

(لا)
NOT



$Z = \overline{A}$

شكل (٨-٣)

والعملية المنطقية لعمل البوابة تعطى بالعلاقة :-

$$Z = \overline{A} = Not\ A$$

حيث $\overline{A}$ هو عكس A ويكون :-

$$A.\overline{A} = 0$$
$$A + \overline{A} = 1$$

والجدول (٨-٣) يبين جدول الحقيقة لبوابة (لا) :-

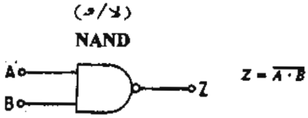
A	$Z = \overline{A}$
0	1
1	0

جدول (٨-٣)

ويمكن استخدام العاكس (NOT) مع كل من بوابات (AND) وبوابات (OR) ويمكن أن يوصل العاكس على مداخل البوابة أو على مخرجها .

٤-بوابة (لا/و) (NAND) :-وهي بوابة مركبة يمكن الحصول عليها بوصل بوابة العاكس على مخرج بوابة (و) (AND) .

رمز هذه البوابة مبين في الشكل (٨-٤):-



شكل (٨-٤)

والعملية المنطقية لها تعطى بالعلاقة :-

$$Z = \overline{A.B}$$

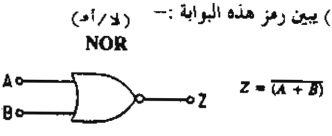
والجدول (٨-٤) يبين جدول الحقيقة لهذه البوابة :-

A	B	$A.B$	$Z = \overline{A.B}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

جدول (٨-٤)

٥-بوابة (لا/أو) (NOR) :-وهي بوابة مركبة يمكن الحصول عليها بوصل بوابة العاكس على مخرج بوابة (أو) .

والشكل (٨-٥) يبين رمز هذه البوابة :-



شكل (٨-٥)

والعملية المنطقية لها هي :-

$$Z = \overline{A + B}$$

والجدول (٨-٥) يبين جدول الحقيقة لهذه البوابة :-

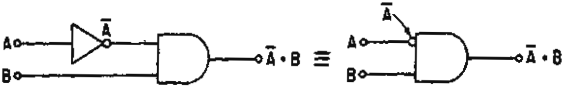
A	B	$A+B$	$Z = \overline{A+B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

جدول (٨-٥)

٦-بوابة عكس أحد المداخل (Inhibitor) :-ويتم الحصول عليه بوصل بوابة العاكس على أحد مداخل البوابات الأخرى .

وعلى سبيل المثال وصل بوابة العاكس على المدخل الأول لبوابة (و) .

رمز هذه البوابة مبين في الشكل (٨-٦) :-



شكل (٨-٦)

والعملية المنطقية لهذه البوابة تعطى بالعلاقة التالية :-

$$Z = \overline{A}.B$$

والجدول (٨-٦) يبين جدول الحقيقة لهذه البوابة :-

A	B	$\overline{A}$	$Z = \overline{A}.B$
0	0	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	1	0	0

جدول (٨-٦)

٧-بوابة (استثناء/ أو) (XOR) (Exclusive OR Gate) :-

وهي بوابة تحقق الشرط :-

A or B But Not A and B

ورمزها كما هو مبين في الشكل (٨-٧) :-

(استثناء/أو)

XOR



$Z = A \oplus B$

شكل (٨-٧)

والعملية المنطقية لهذه البوابة تعطى بالعلاقة :-

$$Z = (A + B)(\overline{A.B})$$

والجدول (٨-٧) يبين جدول الحقيقة لعمل هذه البوابة :-

A	B	$(A+B)$	$(A.B)$	$(\overline{A.\overline{B}})$	$Z = (A+B)(\overline{A.\overline{B}})$
0	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0

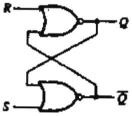
جدول (٨-٧)

<u>الـــنطاطات (Flip-Flops) :-</u> وهـــي عـــبارة عن دوائر إلكترونية تعتمد في تركيبها وعمـــلها عـــلى الدوائر المنطقية وتتألف من بوابتين من نوع (NOR) موصولتين مع بعضهما بشكل متعاكس . ويمتاز النطاط بصفتين أساسيتين :-

١-يبقى النطاط في حالته الابتدائية أي في وضع منطق 0 أو 1 حتى يتم تطبيق إشارة تعمل على تغيير وضعه .

٢-مخرجا النطاط يكونان في وضع منطقي متعاكس .

لفهم مبدأ عمل النطاط نأخذ الدائرة المبينة في الشكل (٨-٨):-



شكل (٨-٨)

١-إذا كـــان المدخل (R) في الحالة المنطقية (1) والمدخل (S) في الحالة المنطقية (0) فـــإن المخرج (Q) يكون في الحالة المنطقية (0) وبالتالي المخرج ($\overline{Q}$) يكون في الحالة المنطقية (1) .

٢-إذا كـــان المدخل (R) في الحالة المنطقية (0) والمدخل (S) في الحالة المنطقية (1) فـــإن المخـــرج (Q) يكون في الحالة المنطقية (1) ، وبالتالي المخرج ($\overline{Q}$) يكون في الحالة المنطقية (0).

٣- في الحالات التي يكون فيها منطقا المدخلين متشابهين :-

أ-إذا كـــان منطق المدخلين (S,R) يـساوي (0) فهذه تمثل حالة عدم تغيير في وضع النطاط .

ب-إذا كـــان المدخــلان (S,R) في الحالة المنطقية (1) فهذه تمثل حالة غير مسـموح بتطبيقها في عمل النطاط .

انواع النطاطات :-

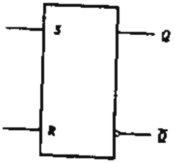
١-النطاط الأساسي (S-R Latch) :-

والجدول (٨-٨) يبين جدول الحقيقة للنطاط (SR) :-

S	R	Q	$\bar{Q}$	Comments
0	0	Q	$\bar{Q}$	No Change (عدم تغير)
1	0	1	0	SET (وضع)
0	1	0	1	RESET (إرجاع)
1	1	؟	؟	Invalid (غير مسموح)

جدول(٨-٨)

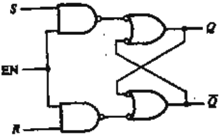
ورمز النطاط الأساسي مبين في الشكل (٨-٩) :-



شكل (٨-٩)

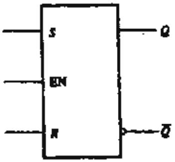
٢-نطاط الساعة (Clock Flip-Flop) :-

ويتألف من بوابات (NAND) ، وقد تم تبديل بوابتي (NAND) ببوابتين من نوع آخر (Negative -OR) مكافئة لها موصولة كما في الشكل (٨-١٠):-



شكل (٨-١٠)

ورمزه كما هو مبين في الشكل (٨-١١):-



شكل (٨-١١)

وجدول الحقيقة لهذا النطاط مبين في الجدول (٨-٩) حيث (EN) في الحالة المنطقية (1):-

S	R	Q	$\overline{Q}$	Comments
0	0	Q	$\overline{Q}$	No Change(عدم تغير)
0	1	0	1	RESET (إرجاع)
1	0	1	0	SET(وضع)
1	1	?	?	Invalid(غير مسموح)

جدول (٨-٩)

العدادات (Counters) :-

١-العداد الثنائي :- (Binary Counter) :-

العداد الثنائي عبارة عن دائرة تقوم بالعد حسب نظام العد الثنائي (Binary System) وفي هذا النظام هنالك حالتان فقط هما الواحد والصفر، ويمكن تمثيل أي عدد باستخدام هاتين الحالتين .

الجدول (٨-١٠) يبين تمثيل الأعداد العشرية بما يقابلها من الأعداد الثنائية :-

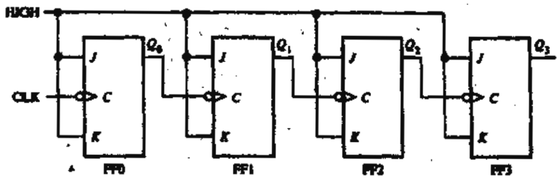
رقم ثنائي	رقم عشري
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	10

جدول (٨-١٠)

دائرة عداد ثنائي باستخدام النطاطات (J-K Flip-Flops) :-

يتألف العداد الثنائي من عدد من النطاطات الأساسية من نوع (J-K) موصولة كما في الشكل (٨-١٢) الذي يبين عداداً ثنائياً غير متزامن لأربع خانات. وتوصل مخارج النطاطات مع مصابيح صغيرة أو ثنائيات باعثة للضوء تدل على الحالة المنطقية على مخرجها ، ويكون المصباح مضاء عندما يكون مخرج النطاط في الحالة المنطقية (1) بينما يكون مطفأ عندما يكون مخرج النطاط في الحالة المنطقية (0) .

في دائـــرة العداد الثنائي ، النطاط الأول ($FF0$) (من اليسار) يغير وضعه من الحالة المنطقية (0) إلى الحالة المنطقية (1) عند كل نبضة $\left(2^{0}\right)$والنطاط الثاني ($FF1$) يغير وضـــعه كـــل نبضتين $\left(2^{1}\right)$ والنطاط الثالث ($FF2$) يغير وضعه كل أربع نبضات $\left(2^{2}\right)$ والنطاط الرابع ($FF3$)يغير وضعه كل ثماني نبضات $\left(2^{3}\right)$.



شكل (٨-١٢)

وعـــلى ســـبيل المثال إذا تم تطبيق سبع نبضات على هذا العداد فان الوضع النهائي لكل نطاط يكون :-

للنطاط الأول :-(1)

للنطاط الثاني :-(1)

للنطاط الثالث :-(1)

للنطاط الرابع :-(0)

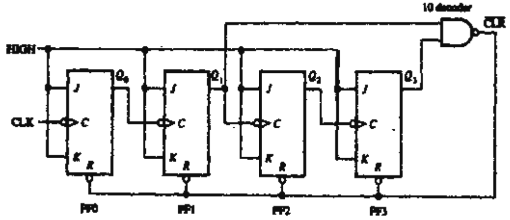
وبتحويل هذه النتائج إلى النظام العشري يكون :-

$$1\times2^{0}+1\times2^{1}+1\times2^{2}+0\times2^{3}=7$$

٢-العداد العشري غير المتزامن

-: (Asyuchronous Clocked Decade Counter)

وهــو عداد يعد الأرقام حسب النظام العشري ويتألف من عدد من نطاطات الســاعة من نوع (J-K) موصولة مع بعضها كما في الشكل(٨-١٣) مع العلم بأن مداخلها $(J = K = 1)$ وكذلك المخطط الزمني لمخارج النطاطات.



شكل (٨-١٣)

النطاط الأول $(FF0)$ يغير حالته عند كل نبضة (2^0)

النطاط الثاني $(FF1)$ يغير حالته عند كل نبضتين (2^1) .

النطاط الثالث $(FF2)$ يغير حالته عند كل أربع نبضات (2^2) .

النطاط الرابع $(FF3)$ يغير حالته عند كل ثماني نبضات (2^3) .

بعد دخول 10 نبضات يكون :-

مخرج النطاط الأول يساوي 0 ، مخرج النطاط الثاني يساوي 1 .

مخرج النطاط الثالث يساوي 0 ، مخرج النطاط الرابع يساوي 1 .

ويكون مخرج النطاط الثاني ومخرج النطاط الرابع موصولين على مدخلي بوابة (NAND) مــن اجل تصفير العداد ، أي جعل العداد يعود إلى وضع الصفر بعد كل عشر نبضات .

أسئلة

٨-١- ارسم رموز البوابات Gates التالية:

AND,NAND ,OR,NOR,Exclusive- OR, NOT

٨-٢- أعطِ جدول الحقيقة للبوابات الوارد ذكرها في السؤال الأول.

٨-٣-مثل البوابات التالية بدائرة كهربائية AND, OR , NOR ، وبين كيفية استخدامها في دوائر التحكم.

٨-٤- استخدم الترانزستور لشرح مبدأ عمل البوابات المذكورة في السؤال الثالث.

٨-٥- استخدم البوابات لعمل جدول الحقيقة Truth table للعلاقة التالية $(\overline{A}+B)$.

٨-٦-ارسم دائرة باستخدام الترانزستور لتوضيح عمل العاكس (Inverter (Not)).

الوحدة التاسعة

أجهزة القياس

تصنيف أجهزة القياس .

جهاز القياس ذو الملف المتحرك .

استخدام جهاز القياس بملف متحرك لقياس الجهد المباشر .

استخدام جهاز القياس بملف متحرك لقياس التيار المباشر .

استخدام جهاز القياس بملف متحرك في قياس المقاومة.

استخدام جهاز القياس بملف متحرك لقياس الجهد والتيار في دوائر التيار المتناوب .

أجهزة القياس بحديدة متحركة .

أجهزة القياس الكهروديناميكية .

أجهزة القياس الحثية .

أجهزة القياس بازدواج حراري .

أجهزة قياس التردد .

جسر ويتستون .

مجزئ الجهد / البوتنشيوميتر .

أجهزة القياس الرقمية .

جهاز راسم الإشارة .

الوحدة التاسعة

أجهزة القياس (Measuring Instruments)

تصنيف أجهزة القياس :

تصنف أجهزة القياس إلى عدة أصناف تبعا لعدة محددات:-

٩-١- تصنيف أجهزة القياس تبعا للاستخدام :-

١-أجهـزة القياس بطريقة مباشرة :-وهي أجهزة تقوم بتحويل طاقة الكمية الكهربائية المراد قياسها إلى طاقة ميكانيكية تقوم بتحريك مؤشر جهاز القياس ليعطي قيمة الكمية المقاسة على لوحة بيان مدرجة (تدريج).

٢- أجهزة قياس بالمقارنة(قراءة غير مباشرة) :يمكن بواسطتها مقارنة الكمية المراد قياسها بمقدار قياسي أو بكمية قياسية من نفس النوع .وتستخدم للحصول على درجة دقة عالية وخاصة عند معايرة الأجهزة .

٩-٢- تصنيف أجهزة القياس حسب مبدأ العمل :-

١-أجهزة قياس بملف متحرك .

٢-أجهزة قياس بحديدة متحركة .

٣-أجهزة القياس الكهروديناميكية .

٤-أجهزة القياس الحثية .

٥-أجهزة القياس بازدواج حراري .

٦-أجهزة قياس التردد .

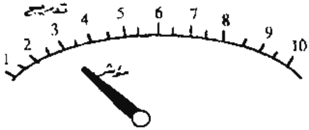
٧-اجهزة القياس الرقمية .

٨-جهاز راسم الاشارة .

٩-٣-تصنيف أجهزة القياس حسب طريقة إعطاء القراءة :-

١-أجهزة القياس البيانية :

وهي أجهزة قياس تعطي القيمة المقاسة مباشرة بواسطة مؤشر يتحرك على تدريج ثابت كما في الشكل (٩-١).



شكل (٩-١)

٢-أجهزة القياس التسجيلية :-

وهي أجهزة تعطي تسجيلا مستمراً للقراءة المقاسة ، حيث يتم التسجيل بواسطة قلم مثبت على شريط ورقي يتحرك بحيث يتحرك القلم بسرعة ثابتة على فترات متباينة ليسجل القيمة المقاسة على الشريط الورقي .

٣-أجهزة القياس التكاملية :-

وهي الأجهزة التي تقوم بالقياس والتسجيل بواسطة مجموعة من القراءات والمؤشرات مثل أجهزة قياس كمية الكهرباء (Ampere-Hours) أو أجهزة قياس الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال فترة زمنية معينة (Kilowatt-Hours) كما في عدادات الطاقة الكهربائية المستخدمة في المنازل .

٩-٤-تصنيف أجهزة القياس حسب درجة الدقة :-

١-الأجهـــزة المرجعية أو الابتدائية : وهي تدعى الأجهزة المعيارية وتستخدم لمعايرة أجهزة القياس وتتراوح دقة القياس فيها من 0.1 % إلى 0.5 % .

٢-أجهـــزة متوســطة الدقة :وهي أجهزة قياس دقتها اقل من الأجهزة المعيارية ودقة القياس فيها تتراوح من 1 % إلى 5 % .

٣-أجهزة غير دقيقة : درجة دقتها اكبر من 5 % .

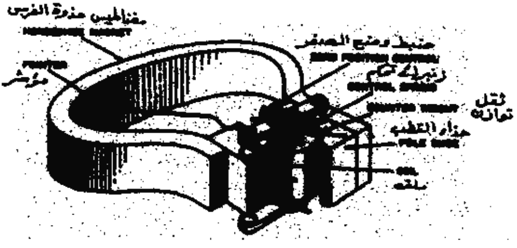
تصنيف أجهزة القياس حسب مبدأ العمل :-

١-جهاز القياس ذو الملف المتحرك (Moving-Coil Instrument)

١-الاستخدام :-

يســتخدم بشكل واسع في أجهزة القياس الإلكترونية وفي أجهزة قياس التيار المستمر ويوصل معه دائرة تقويم في حال استخدامه للقياس في دوائر التيار المتردد .

٢- التركيب :-



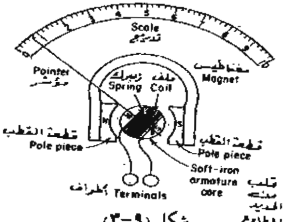
شكل (٩-٢)

يــتألف هذا الجهاز كما هو مبين في الشكل (٩-٢) من مغناطيس دائم على شكل حـــدوة الفرس، مثبت بنهايتيه قطبان من الحديد المطاوع من اجل تركيز خطوط المجال المغناطيسي وزيادة خطوط المجال المغناطيسي بين قطبي المغناطيس الدائم .

في الفجـــوة الهوائـــية بين القطبين يوجد قلب حديدي دائري الشكل يتحرك عليه ملف مكون من أسلاك نحاسية معزولة ملفوفة حول صفيحة من معدن خفيف مثل الألمنـــيوم يمكـــنها الدوران بسهولة حول محور محمول على كرسي مصنوع من مادة العقيق لتقليل الاحتكاك ، ويثبت على المحور مؤشر يتحرك على تدريج مقسم ومعاير.

الغايـــة من الصفيحة المعدنية هي الحصول على عزم التخميد بواسطة التيارات الإعصارية المتولدة خلالها .

٣-مـــبدأ العمـــل :- يتم تحديد قيمة التيارات المقاسة بواسطة هذا النوع من أجهزة القـــياس بـــتحديد قيمة التيار المار من خلال الملف المتحرك للجهاز كما هو مبين في الشـــكل (٩-٣)، وبمرور التيار خلال هذا الملف يؤدي إلى توليد مجال مغناطيـــسي بين القطـــبين ، هـــذا المجال يؤدي إلى دوران الجزء المتحرك في الجهاز مما يؤدي إلى تحريك المؤشـــر عـــلى التدريج باتجاه القطبية المطبقة على هذا الملف . وهذا النوع من أجهزة القياس يعطي القطبية أو اتجاه سريان التيار .



شكل (٩-٣)

٤–عزم الانحراف لهذه الأجهزة (Deflection Torque):–

عـــندما يمر التيار من خلال الملف لهذه الأجهزة فانه يولد مجالاً مغناطيسياً بين القطبين يتشابك مع الفيض المغناطيسي الناتج عن المغناطيس الدائم مما يؤدي إلى توليد عزم انحراف يؤدي إلى دوران الجزء المتحرك بزاوية تتناسب مع قيمة التيار المار .

يعطى عزم الانحراف بالعلاقة :

$$T_d = N.B.I.l.b = N.B.I.A$$

حيث :– T_d عزم الانحراف $(N.m)$.

B كثافة الفيض المغناطيسي في الفجوة الهوائية $\frac{Wb}{m^2}$.

l طول الملف (m) .

b عرض الملف (m) .

A مساحة مقطع الملف $\left[m^2\right]$ $A = l.b$.

I التيار المار من خلال الملف (أمبير) .

N عدد لفات الملف .

يلاحظ من العلاقة السابقة أن عزم الانحراف في هذه الأجهزة يتناسب مع التيار :–

$$T_d \propto I \Rightarrow T_d = C.I$$
$$C = N.B.A$$

ويســـتخدم الزنبرك في هذه الأجهزة من اجل التحكم بحركة المؤشر وبالتالي توليد عزم التحكم ، والجدير بالذكر أن عزم التحكم يعاكس عزم الانحراف ، حيث أن :–

$$T_c \propto \theta$$

حيث :– C ثابت الجهاز .

θ هي زاوية الانحراف (بالدرجات أو التقدير الدائري (rad))

وعند الاتزان فان :–

$$T_d = T_C \Rightarrow \theta \propto I$$

٥- التخميد في هذه الأجهزة :-

الهدف من التخميد هو إلغاء تذبذبات المؤشر حول القيمة المراد قياسها .

ويتم الحصول على التخميد في هذه الأجهزة باستخدام التيارات الإعصارية الناتجة في الأجزاء المعدنية للجزء المتحرك ، وبما أن هذه الأجزاء تتحرك ضمن المجال المغناطيسي وبالتالي فان التيارات الإعصارية الناتجة عنها تكون مرتفعة فيكون عزم التخميد لها كبيرا ، وتكون عملية الإخماد في هذه الأجهزة فعالة .

٦-ميزات هذه الأجهزة :-

١-ضياعات القدرة فيها قليلة .

٢-تدريجها منتظم .

٣-تغطي مجالات قياس مختلفة ومرتفعة .

٤-لا يوجد فيها ضياعات ناتجة عن المغناطيسية المتبقية .

٥-فعالية التخميد في هذه الأجهزة الناتجة عن التيارات الإعصارية عالية .

٦- يمكن إهمال المجالات المغناطيسية الشاردة نتيجة قوة المجال المغناطيسي الأساسي في هذه الأجهزة .

٧- مساوئ هذه الأجهزة :-

١-تكلفتها مرتفعة بالمقارنة مع أجهزة القياس الأخرى .

٢-تستخدم بشكل أساسي لقياس الكميات ذات التيار المباشر .

ويمكن استخدامها لقياس كميات التيار المتناوب ولكن بإضافة دوائر تقويم وتقل حساسيتها في هذه الحالة .

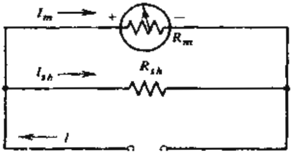
استخدام أجهزة القياس بملف متحرك في دوائر التيار المباشر .

١-استخدام جهاز القياس ذي الملف المتحرك لقياس التيار المباشر:-

إن ملفـــات الجـــزء المتحرك في هذه الأجهزة صغيرة جدا ، وبالتالي فان مقدار التيار الـــذي يســـمح بمـــروره من خلال هذه الملفات يكون قليلا جدا . ولاستخدام هذه الأجهزة في قياس لتيارات ذات قيم كبيرة لابد من زيادة مقدرة الجهاز على قياس مثل هذه التيارات .

ويـــتم ذلـــك بإضافة مقاومة صغيرة على التوازي مع ملفات الجزء المتحرك . تدعـــى هذه المقاومة مقاومة التوازي ووظيفتها الأساسية هي تجزئة التيار وتقليل قيمة التيار المار في ملفات الجزء المتحرك للجهاز .

الشـــكل (٩-٤) يـــبين الدائرة الكهربائية المكافئة لجهاز القياس بملف متحرك عند استخدامه في قياس التيار المباشر .



شكل (٩-٤)

حيث أن :- R_m المقاومة الداخلية لجهاز القياس (مقاومة ملف الجزء المتحرك) .

R_{sh} مقاومة التوازي .

I_m التيار المار في ملفات الجزء المتحرك .

I_{sh} التيار المار في مقاومة التوازي .

I التيار الكلي الذي يظهر على مؤشر القياس .

بتطبيق قانون اوم على الدائرة المكافئة يكون :-

$$V_m = I_m . R_m$$

$$V_{sh} = I_{sh} . R_{sh}$$

$$V_m = V_{sh}$$

$$I = I_m + I_{sh} \Rightarrow I_m = I - I_{sh}$$

$$R_{sh} = \frac{V_{sh}}{I_{sh}} = \frac{V_m}{I_{sh}} = \frac{I_m . R_m}{I_{sh}} = R_m \times \frac{I - I_{sh}}{I_{sh}}$$

$$R_{sh} = R_m \times \frac{I_m}{I - I_m} = \frac{R_m}{n-1} \quad [\Omega]$$

حيث n عدد مرات تكبير مدى جهاز القياس ويساوي $\left(\frac{I}{I_m}\right)$.

٢-استخدام جهاز القياس بملف متحرك لقياس الجهد المباشر:-

عند استخدام جهاز القياس بملف متحرك لقياس التيار ، فحسب مبدأ عمله فانه نتيجة مـــرور التـــيار في ملفات الجزء المتحرك يتولد مجال مغناطيـسي يتفاعل بدوره مع المجال المغناطيسي الناشئ عن المغناطيس الدائم ، مما يؤدي إلى تولد قوة مغناطيسية تؤدي إلى دوران الجزء المتحرك حول محور الجهاز.

ونتـــيجة لوجود الزنبرك في الجهاز فان هذا الزنبرك سوف يقاوم تحرك الجزء المتحرك للجهاز نتيجة وجود العزم النوعي للمادة المصنوع منها هذا الزنبرك ، وعند حالـــة الاتزان يتساوى العزمان ، وهذا يعني أن مؤشر الجهاز سوف يستقر عند قيمة معينة مبينا القيمة المقاسة على تدريج الجهاز .

عند استخدام جهاز القياس ذي الملف المتحرك لقياس التيار فان التيار المقاس يعطى بالعلاقة :-

$$I = C_I . \theta$$

حيث أن $S_I = \frac{1}{C_I}$ تمثل حساسية التيار لجهاز القياس .

C_I ثابت التيار لجهاز القياس .

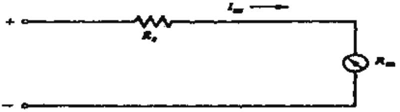
وعند استخدام الجهاز لقياس الجهد فان :-

$$V = I.R = R.C_I.\theta = C_V.\theta$$

حيث C_V يساوي ثابت الجهد لجهاز القياس .

يمكن استخدام جهاز قياس التيار بملف متحرك من اجل قياس الجهد بإضافة مقاومة على التوالي مع ملف القياس للجهاز تدعى المقاومة الضاربة (**Multiplier**) . الغاية من إضافة المقاومة هي زيادة مدى القياس ولتحديد قيمة التيار المار في ملف الجهاز للحصول على انحراف كبير عند التدريج الكامل .

الدائرة المكافئة لجهاز قياس الجهد مبينة في الشكل (٩-٥) :-



شكل (٩-٥)

من اجل تحديد قيمة R_s نحدد حساسية الجهاز .

تعرف حساسية الجهاز بأنها تساوي :-

$$S = Sensitivity = \frac{1}{I_{fs}} \frac{\Omega}{V}$$

حيث أن I_{fs} هو تيار التدريج الكامل (**Full Scale**) .

والحساسية في أجهزة القياس يجب أن تكون اكبر من $20 \frac{K\Omega}{V}$.

يوصـــل جهاز قياس الجهد على التوازي مع القيمة المقاسة ولذلك لابد من أن تكون مقاومته الداخلية كبيرة جدا من اجل الحصول على دقة قياس عالية .

وحـــدة الحساسية S تحدد قيمة المقاومة المضافة R_s لتدريج $1V$. لحساب قيمة المقاومة وللحصول على تدريج اكبر من $1V$ فإننا نستخدم العلاقة :-

$$R_S = S \times Range - R_m$$

المقاومة الكلية تعطى بالعلاقة :-

$$R_{mt} = S \times Range$$

استخدام جهاز القياس بملف متحرك في قياس المقاومة

يمكـــن اســـتخدام جهـــاز قياس التيار بملف متحرك كجهاز لقياس المقاومات باستخدام مصدر جهد ثابت (بطارية) ومقاومة متغيرة (Resistor) .

أنواع أجهزة قياس المقاومة :-

١-جهاز قياس المقاومة ذو الملف الواحد :-

تعتمد قراءة الجهاز على فرق جهد التشغيل . ويتكون من نوعين :-

أ-نوع توالٍ :-توصل المقاومة المقاسة على التوالي مع ملف الجهاز .

ب-نوع توازٍ :-توصل المقاومة المقاسة على التوازي مع ملف الجهاز .

٢- جهاز قياس المقاومة ذو الملفين:-

لا تعتمد قراءة الجهاز على فرق جهد التشغيل .ويتكون من نوعين:-

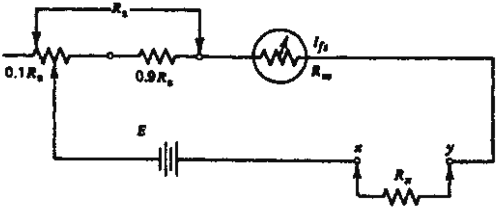
أ-نوع توالٍ .

ب-نوع توازٍ .

جهاز قياس المقاومة ذو الملف الواحد :-

أ-نوع التوالي :-

الدائرة المكافئة لهذا النوع مبينة في الشكل (٩-٦) ، حيث يتألف هذا الجهاز من جهاز قياس تيار ذي ملف متحرك موصول على التوالي مع مصدر جهد ثابت (بطارية) ومقاومة متغيرة تتألف من جزأين ، جزء ثابت وجزء متغير ، ويعاير الجزء المتغير من اجل الحصول على التدريج الكامل للجهاز .



شكل(٩-٦)

حيث توصل المقاومة المراد قياسها بين النقطتين X,Y .

عند وصل سلك بين النقطتين X,Y فإننا نحصل على دائرة توالٍ مؤلفة من مصدر جهد E والمقاومة المتغيرة R_z والمقاومة الداخلية لجهاز قياس التيار R_m . وتستخدم هذه الطريقة في العادة من اجل القيام بعملية تصفير الجهاز قبل البدء بعملية القياس.

وتتم عملية التصفير عادة بوصل سلك قصير بين طرفي القياس لجهاز قياس المقاومة ، وضبط مفتاح التصفير (المقاومة المتغيرة) إلى أن يشير المؤشر إلى الصفر .

تحدد قيمة التيار المار في الدائرة حسب قيمة المقاومة المتغيرة والمقاومة الداخلية لملف جهاز قياس التيار.

بتطبيق قانون اوم على الدائرة بدون وجود المقاومة المقاسة نحصل على :-

$$I_{fs}=\frac{E}{R_Z+R_m}$$

وعند إضافة المقاومة المقاسة R_X نحصل على :

$$I=\frac{E}{R_Z+R_m+R_X}$$

يعــرف الانحـــراف P في جهـــاز قياس المقاومة بأنه النسبة بين التيار المار في الدائــرة بوجـــود المقاومة المقاسة إلى التيار المار في الدائرة عندما تكون قيمة المقاومة المقاسة تساوي الصفر (وصل السلك ما بين النقطتين X,Y).

ويستخدم الانحراف من اجل تدريج جهاز القياس .

ويعطى الانحراف بالعلاقة التالية :-

$$P=\frac{I}{I_{fs}}=\frac{\dfrac{E}{R_Z+R_m+R_X}}{\dfrac{E}{R_Z+R_m}}=\frac{R_Z+R_m}{R_Z+R_m+R_X}\Rightarrow$$

$$R_X=\left(\frac{R_Z+R_m}{P}\right)-\left(R_Z+R_m\right)=\left(R_Z+R_m\right)\left(\frac{1-P}{P}\right)$$

استخدام أجهزة القياس بملف متحرك لقياس الجهد والتيار في دوائر التيار المتناوب

D`Arsonval Meter Movement Used with AC Circuits

تستخدم أجهزة القياس بملف متحرك المستخدمة في دوائر التيار المباشر للقياس في دوائر التيار المتناوب بإضافة دائرة تقويم من اجل تقويم التيار المار في ملف القياس هذه الأجهزة، ودوائر التقويم المستخدمة تقسم إلى قسمين أساسيين هما :-

١-دائرة تقويم نصف موجة (**Half-Wave Rectification**).

٢-دائرة تقويم موجة كاملة (**Full-Wave Rectification**).

١–باستخدام دوائر تقويم نصف موجة :–

إذا أضيف ديود إلى ملف جهاز قياس الجهد ذي الملف المتحرك المستخدم في دوائر التيار المباشر كما في الشكل (٩–٧) فانه يمكن استخدام هذا الجهاز لقياس الجهد المتناوب .



شكل (٩–٧)

الحساسية في حالة dc تعطى بالعلاقة :–

$$S = \frac{1}{I_{fs}} \; \Omega/V$$

على اعتبار أن الديود المستخدم هو ديود مثالي أي أن $R_d = 0$. وفي هذه الحالة فان:–

$$R_{mt} = S.Range$$
$$R_S = S.Range - R_m$$

في حال استخدام الجهاز لقياس الجهد المتناوب ، وعلى اعتبار أن الجهد المقاس عبارة عن جهد جيبي الشكل ، فان :–

$$V_{max} = \sqrt{2}.V_{rms}$$

(للموجة الجيبية الداخلة)

$$V_{av} = \frac{2.V_{max}}{\pi}$$

وعند استخدام هذه الأجهزة للقياس في دوائر التيار المتناوب فان حساسية الجهاز تقل ولبيان ذلك فإننا سنقوم بحساب الحساسية لكل نوع من أنواع التقويم ومقارنتها مع الحساسية في حال استخدام الجهاز في دوائر التيار المباشر .

للمقارنة بين استخدام جهاز قياس الجهد المستمر والجهد المتاوب ، لنأخذ جهاز قياس بتدريج $10\ Vdc$ ونأخذ إشارة مدخل جيبية الشكل $10\,V(rms)$ مطبقة على مدخل الجهاز . فيكون (للموجة الجيبية الداخلة) :-

$$V_{max} = \sqrt{2}.V_{rms} = 1.414 \times 10 = 14.14\ V$$

$$V_{av} = \frac{2V_{max}}{\pi} = \frac{2 \times 14.14}{\pi} \approx 9\ V$$

عند استخدام تقويم نصف موجة فان الجهد الواصل لجهاز القياس يكون :-

$$\frac{V_{av}}{2} = \frac{9}{2} = 4.5V$$

$$V_{av} = \frac{V_{max}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}\ V_{rms}}{\pi} \approx 0.45 V_{rms}$$

$$\therefore \quad S_{(ac)} = 0.45\, S_{(dc)}$$

وبالتالي إذا كان التدريج عند استخدام الجهاز لقياس الجهد المستمر هو $10V$ فان التدريج سوف يختلف عند استخدامه لقياس نفس القيمة من الجهد المتاوب rms ويكون التغير حسب العلاقة :-

$$Range_{\ (ac)} = 0.45\ Range_{\ (dc)}$$

وبالتالي يمكن كتابة المعادلات المستخدمة في أجهزة القياس بملف متحرك في حالة الجهد المتاوب بالشكل التالي :-

$$R_{md(ac)} = S_{(ac)} \times Range_{(dc)} = S_{(dc)} \times Range_{(ac)}$$

$$R_{S(ac)} = S_{(ac)} \times Range_{(dc)} - R_m = S_{(dc)} \times Range_{(ac)} - R_m$$

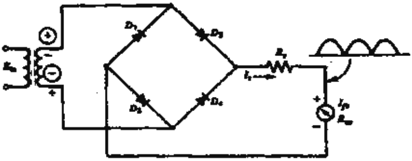
$$S_{(ac)} = 0.45 \times S_{(dc)}$$

$$Range_{(ac)} = 0.45 \times Range_{(dc)}$$

ويكون الخطأ لهذا النوع من الأجهزة كبيرا .ويقتصر استخدام جهاز قياس الجهد المتاوب ذي الملف المتحرك على قياس الجهود ذات الموجات الجيبية فقط .

٢-استخدام مقوم موجة كاملة :-

الدائرة المكافئة مبينة في الشكل (٩-٨) :-



شكل (٩-٨)

$$V_{max} = \sqrt{2} \times V_{rms}$$

$$V_{av} = \frac{2 \times V_{max}}{\pi} = 0.637\ V_{max}$$

$$V_{av} = \frac{2\ V_{max}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}\ V_{rms}}{\pi} \approx 0.9\quad V_{rms}$$

$$\therefore\quad S_{(ac)} = 0.9\quad S_{(dc)}$$

$$S_{(ac)} = 0.9 \times S_{(dc)}$$

$$Range_{\ (ac)} = 0.9 \times Range_{\ (dc)}$$

جهاز الافوميتر (VOM) :-

هو جهاز (فولت -أمبير-اوم) ويستخدم لقياس الجهد والتيار والمقاومة في دوائر التيار المباشر والتيار المتناوب وبتدريجات متعددة .



٢-أجهزة القياس بحديدة متحركة :-

(Moving-Iron Ammeters and Voltmeters)

تقسم هذه الأجهزة إلى نوعين أساسين :-

٢-١-أجهزة قياس بحديدة متحركة من نوع تجاذبي (**Attraction Type**)

١-التركيب :-

تتألف هذه الأجهزة كما هو مبين في الشكل (٩-٩) من الأجزاء الرئيسية التالية :-

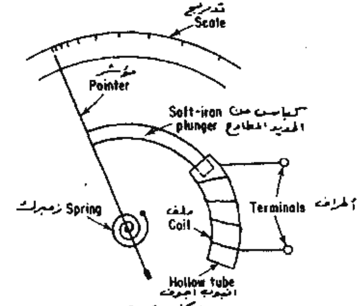
١-ملف ثابت .

٢-قطعة من الحديد المطاوع مثبتة على محور حر الحركة .

٣-وسيلة لتوليد عزم التحكم .

٤-وسيلة تخميد .

٥-مؤشر يتحرك على التدريج .



شكل (٩-٩)

٢- مبدأ العمل:-

من المعروف أنه إذا تم وضع قطعة معدنية خفيفة الوزن غير ممغنطة عند إحدى نهـايتي ملف يمر فيه تيار فان هذه القطعة سوف تنجذب نحو هذا الملف بنفس الطريقة الـتي توضع فيها هذه القطعة بالقرب من أحد أقطاب مغناطيس . وبالتالي إذا تم وضع قـرص بيضاوي الشكل مكون من قطعة معدنية على عمود الدوران بالقرب من الملف فان القرص المعدني سوف يهتز بين طرفي الملف في حال مرور التيار.

وبما أن قوة المجال المغناطيسي الناشئة تعتمد على قيمة التيار المار فان قيمة هذا المجـال تـزداد بـزيادة التـيار المار من خلال الملف . وتكون اكبر قيمة لهذا المجال المغناطيسـي مركـزة في منتصف الملف ، ولذلك يتم وضع القرص المعدني في منتصف الملف .

وفي حال تثبيت المؤشر على محور الدوران الحامل لهذا القرص فان مرور التيار خـلال هـذا الملف سوف يؤدي إلى انحراف المؤشر ، وتكون قيمة الانحراف للمؤشر متناسبة مع قيمة التيار المار ، كلما زادت قيمة التيار المار تزداد قيمة انحراف المؤشر .

ويجـدر بالملاحظـة أنه مهما كان اتجاه مرور التيار خلال الملف فان القرص المعدني سوف يجذب نحو الملف بنفس الاتجاه وبالتالي فان هذا النوع من الأجهزة يمكن استخدامه في قياس الكميات المتناوبة والمستمرة .

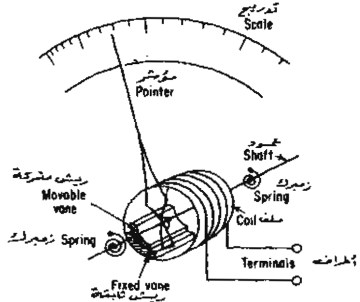
وعـند استخدام هذه الأجهزة لقياس التيار فانه بمرور التيار من خلال الملف يتشـكل فـيض مغناطيسي في الملف يعمل على جذب القرص المعدني نحو هذا الملف وبالتالي يؤدي إلى انحراف المؤشر الذي يتحرك على تدريج معاير .

۲-۲-أجهزة قياس بحديدة متحركة من نوع تنافري :-

(Repulsion Type M.I. Instruments)

۱- التركيب :-

يتألف هذا النوع من أجهزة القياس كما هو مبين في الشكل (۹-۱۰) من ملف ثابت يوجد بداخله قطعتان من المعدن اللين موضوعتان بشكل متوازٍ مع بعضهما البعض ومع محور الجهاز . إحدى هاتين القطعتين تثبت مع الملف والأخرى متحركة مثبت عليها مؤشر يتحرك على تدريج معاير .



شكل (۹-۱۰)

۲-مبدأ العمل :-

عندما يمر التيار من خلال الملف فإنه يولد فيضا مغناطيسيا يقوم بدوره بمغنطة القطعتين المعدنيتين بقطبية مغناطيسية متشابهة ، مما يؤدي إلى تنافرهما وانحراف المؤشر المثبت على إحدى القطعتين بشكل يعاكس الفيض الأساسي وعزم التحكم سواء كان هذا التحكم باستخدام الزنبرك أو الجاذبية .

والقوة الناشئة عن التنافر تتناسب مع مربع التيار المار من خلال الملف ومهما كـان اتجاه التيار في الملف فان قطبية المغنطة للقطعتين المعدنيتين تكون متشابهة مما يولد قوة تنافر بينهما .

٣-عزم الانحراف لهذه الأجهزة :-

ينشـا عـزم الانحراف في هذه الأجهزة نتيجة قوة التنافر للقوة المغناطيسية الناشـئة مـا بين القطعتين. وهذا العزم يتناسب مع قوة التنافر،وبما أن القوة للقطب تتناسـب مـع شدة المجال المغناطيسي للملف H فان العزم الناشئ يتناسب مع مربع شـدة المجال المغناطيسي H^2 . وبما أن شدة المجال المغناطيسي نفسها متناسبة مع التيار المار من خلال الملف وبالتالي فان العزم يتناسب مع I^2 .

مـن ذلك نستنتج أن عزم الانحراف يتناسب مع مربع التيار ، وعند استخدام الجهد المتناوب فان عزم الانحراف يتناسب مع مربع القيمة الفعالة للتيار المار من خلال الملف.

إن تدريج هذه الأجهزة غير منتظم في حال استخدام القضبان المعدنية ، ويمكن الحصول على تدريج منتظم باستخدام الصفائح المعدنية بدلا من القضبان .

يـتم الحصول على عزم التحكم في هذه الأجهزة باستخدام الزنبرك أو مبدأ الجاذبية .

لا تـستخدم التيارات الإعصارية في هذه الأجهزة من اجل الحصول على عزم التخمـيد لان هـذه التيارات تستخدم في هذه الأجهزة من اجل الحصول على عزم الانحراف .

وتستخدم هذه الأجهزة للقياس في دوائر التيار المباشر والتيار المتناوب .

في كـلا الـنوعين لأجهزة القياس بحديدة متحركة فان الفيض المغناطيسي ينتج القوة الدافعة الكهربائية (امبير.لفة) نتيجة مرور التيار في الملف .

وعـــند استخدام الجهاز من اجل قياس التيار فان ملف الجهاز يتألف من عدد قلـــيل من اللفات السميكة من اجل الحصول على مقاومة منخفضة لان الملف في هذه الحالة يوصل على التوالي مع الكمية المقاسة .

وعـــند استخدام الجهاز من اجل قياس الجهد فان ملف الجهاز يتألف من عدد كـــبير مـــن اللفات بممانعة مرتفعة من اجل تقليل التيار المار من خلالها حيث أن هذه الملفات توصل على التوازي مع الكمية المقاسة .

الأخطاء في أجهزة القياس بحديدة متحركة :-

هنالك نوعان من الأخطاء في هذا النوع من الأجهزة هما :-

١-الأخطـــاء الـــناتجة عـــن استخدام هذه الأجهزة لقياس الكميات المتناوبة والمستمرة :-

وتقسم إلى الأقسام التالية :-

١-١-أخطاء ناتجة عن المغناطيسية المتبقية في الأجزاء المتحركة المعدنية لجهاز القـــياس ، القراءات في هذه الأجهزة تكون مرتفعة عند وجود مغناطيســـية متبقية قليلة القيمة وتكون القراءات لهذه الأجهزة منخفضة عند قيم مرتفعة للمغناطيســـية المتبقية ، ويمكـــن التخلص من الأخطاء الناتجة عن المغناطيسية المتبقية باستخدام أجزاء متحركة لهذه الأجهزة مصنوعة من السبائك المعدنية .

١-٢- أخطـــاء ناجمة عن المجالات المغناطيســـية الشاردة ، حيث يؤدي وجود هذا النوع من المجالات إلى وجود أخطاء في قراءة الأجهزة ، ويمكن التخلص من هذه الأخطـــاء بحصر هذه المجالات باستخدام غطاء معدني يحيط بالمجال المغناطيسي الأساسي لأجهزة القياس .

٢–الأخطاء الناتجة عن استخدام هذه الأجهزة لقياس الكميات المتناوبة فقط :–
وهـــذه الأخطاء تنتج بشكل أساسي نتيجة تغير التردد في دوائر التيار المتناوب ، وتغير التردد يؤدي إلى تغير قيمة الممانعة للملف وتغير قيمة التيارات الإعصارية .

أهمـــية تغــير قيمة المفاعلة بتغير قيمة التردد في أجهزة القياس للجهد المتناوب تظهـــر بشـــكل واضـــح عـــند القيم المرتفعة للتردد والتي هي أعلى من قيم التردد المستخدمة في معايرة الأجهزة ، في هذه الحالة يقيس الجهاز قيماً اقل من القيم الحقيقية.
يمكـــن الـــتخلص من هذا الخطأ بوصل مكثف بقيمة مناسبة على التوازي مع المقاومة الداخلية لجهاز القياس .

ميزات ومساوئ أجهزة القياس بحديدة متحركة :–

١–رخيصة الثمن .

٢–تعطي استقرارية في العمل .

٣–تستخدم في دوائر التيار المتناوب والمستمر .

٤–لا يمكـــن معايـــرتها بدرجة دقة كبيرة نتيجة وجود المغناطيسية المتبقية في القضبان والصفائح المعدنية .

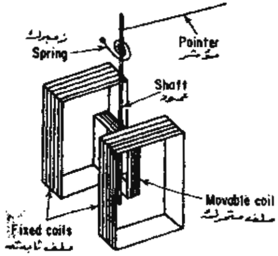
٣–أجهزة القياس الكهروديناميكية :–

(Electrodynamic Dynamometers or Instruments)

هـــذه الأجهزة عبارة عن أجهزة قياس بملف متحرك يكون فيها الفيض الأساسي ناتجاً عن ملف ثابت بدلا من المغناطيس الدائم .
يمكـــن اســـتخدام هذا النوع من أجهزة القياس لقياس التيار والجهد ولكنها تستخدم بشكل أساسي لقياس القدرة .

١–التركيب :–

يتألف هذا النوع من الأجهزة كما هو مبين في الشكل (٩–١١) من ملفين أحدهما ثابت والآخر متحرك . الملف الثابت مقسوم إلى نصفين متساويين (F) يثبتان بالقرب من بعضهما البعض بشكل متوازٍ.



شكل (٩–١١)

وهذان الملفان يكونان بقلب هوائي للتخلص من الآثار الهسترية ، ويوضع الملف المتحرك بينهما ، ويوصل الملف الثابت والملف المتحرك على التوالي بحيث يمر التيار المراد قياسه في كلا الملفين ، ويثبت على الملف المتحرك مؤشر يتحرك على تدريج لتحديد القيمة المقاسة .

٢–عزم الانحراف لهذه الأجهزة :–

يعطى عزم الانحراف لهذه الأجهزة بالعلاقة :–

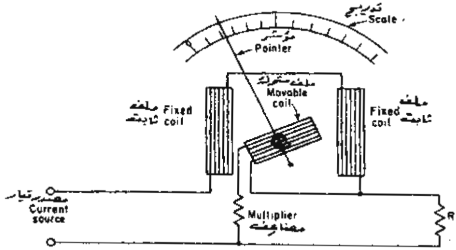
$$T_d = K_I . I_1 . I_2$$

على اعتبار أن التيار المار من خلال الملف الثابت I_1 والتيار المار من خلال الملف المتحرك I_2. من العلاقة السابقة نلاحظ أن عزم الانحراف يتناسب مع تيار الملف الثابت وتيار الملف المتحرك .

تستخدم هذه الأجهزة في دوائر التيار المباشر ودوائر التيار المتناوب وفي قياس القدرة في الدوائر أحادية الطور وفي قياس معامل القدرة وقياس التردد .

استخدام أجهزة القياس الكهروديناميكية في قياس القدرة في الدوائر أحادية الطور :-

في هذه الحالة توصل ملفات الجزء الثابت على التوالي مع الحمل كما هو مبين في الشكل (٩-١٢) ، وبالتالي يمر من خلالها نفس التيار الذي يمر بالحمل بالإضافة إلى تيار قليل ناتج عن تشابك الفيض المغناطيسي بين ملفي الجزء الثابت وملفات الجزء المتحرك . ويوصل ملف الجزء المتحرك مع المقاومة R_S على التوازي كملف لقياس الجهد على طرفي الحمل .



شكل (٩-١٢)

وتعطى علاقة العزم الميكانيكي الناتج بالعلاقة :-

$$T_d = K_m.V.I.Cos\theta$$

حيث أن :- T_d – عزم الانحراف $(N.m)$.

K_m – ثابت الجهاز (درجة/وات) .

V – القيمة الفعالة لجهد المصدر .

I – القيمة الفعالة لتيار المصدر .

$Cos\theta$ – معامل القدرة .

٣-التخميد في هذه الأجهزة :-

يستخدم التخميد الهوائي لهذه الأجهزة لأن التخميد باستخدام التيارات الإعصارية غير فعال لأن المجالات المغناطيسية الناتجة تكون ضعيفة .

٤-الأخطاء في هذه الأجهزة :-

بما أن الملفات المستخدمة في هذا النوع من الأجهزة تكون من النوع الهوائي (دون قلوب معدنية) فانه من اجل إنتاج عزم انحراف كبير فانه يلزم عدد كبير من اللفات للملف المتحرك .وقيمة التيار المار تكون محدودة لان الزنبرك المستخدم في التحكم يستخدم من اجل إدخال وإخراج التيار . العاملان السابقان يؤديان إلى وجود نظام صعب الحركة بعفاقيد كبيرة ناتجة عن الاحتكاك وهي كبيرة بالمقارنة مع أجهزة القياس الأخرى .

٥--خصائص هذه الأجهزة :-

١- تخلو من التيارات الإعصارية والظاهرة الهسترية .

٢- حساسية منخفضة .

وهناك أجهزة تسمى " الأجهزة الفروديناميكية " ، وهي أجهزة قياس كهروديناميكية تلف فيها الملفات على قلوب معدنية لزيادة الفيض المغناطيسي .

٤-أجهزة القياس الحثية (Induction Meters) :-

إن أجهزة القياس الحثية تستخدم لقياس قيم التيارات والجهود المترددة وتستخدم بشكل واسع في عدادات (كيلوواط .ساعة) وفي أجهزة قياس القدرة .
وتستخدم في دوائر التيار المتناوب فقط ، حيث أن مبدأ عملها يعتمد على وجود تشابك بين خطوط المجالات المغناطيسية المترددة والتيارات الإعصارية المتولدة بالحث نتيجة لتحرك العناصر ضمن هذه المجالات المغناطيسية .

مبدأ العمل :-

تعتمد أجهزة القياس الحثية في مبدأ عملها على تولد عزم ناتج عن تشابك خطوط المجال المغناطيسي لفيضين ، الأول ϕ_1 (المعتمد على قيمة التيار أو الجهد المراد قياسه) ، والثاني ϕ_2 الناتج عن التيارات الإعصارية المحثة داخل القرص المعدني(Drum) (المعتمد على قيمة التيار والجهد المراد قياسه) أيضا .وبما أن قيمة التيارات الإعصارية المحثة تعتمد على قيمة الفيض المنتج لها فان القيمة اللحظية للعزم الناتج تتناسب مع مربع التيار أو الجهد المراد قياسه ، والقيمه المتوسطة للعزم تتناسب مع مربع القيمة المتوسطة للتيار أو الجهد المراد قياسه.

أجهزة قياس الجهد والتيار الحثية :- (**Induction Voltmeters and Ammeters**)

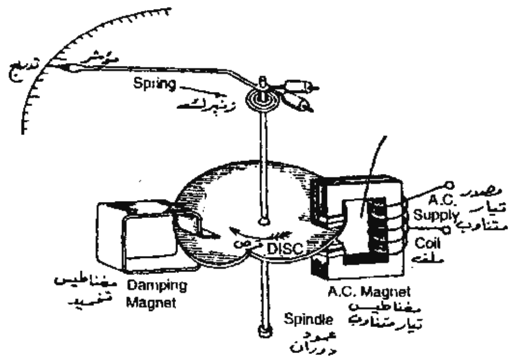
١-التركيب ومبدأ العمل :-

تتألف هذه الأجهزة كما هو مبين في الشكل (٩-١٣)من ملف ملفوف حول قلب حديدي له فجوة هوائية تقسم ساق القلب الحديدي إلى قسمين ، وتوضع في جانبي الفجوة الهوائية حلقات من النحاس الأحمر. في الفجوة الهوائية يوضع قرص مصنوع من الألمنيوم مثبت على محور حر الحركة ويثبت على هذا المحور مؤشر يتحرك على تدريج معاير .

في هذا النوع من الأجهزة يتشكل فيض أساسي في القلب المعدني . هذا الفيض يتجزأ إلى فيضين ثانويين في الحلقات النحاسية حيث يتم الحصول على زاوية فرق الطور بين الفيضين وهي بحدود $\alpha = 50^{\circ}$.

الفيضان المتغيران ϕ_1, ϕ_2 يؤديان إلى توليد عزم الانحراف للجهاز عند مرور التيار المراد قياسه في الملف الأساسي ، وهذا العزم يعطى بالعلاقة :-

$$T_d \propto \phi_{1m} \cdot \phi_{2m} . Sin\,\alpha$$



شكل (٩-١٣)

وبما أن كلا الفيضين ناتجان عن نفس التيار فان عزم الانحراف يتناسب مع مربع قيمة هذا التيار $\left(T_d \propto I^2\right)$ ، مما يؤدي إلى انحراف المؤشر لجهاز القياس بزاوية تتناسب مع مربع التيار .

٢-عزم التحكم لهذه الأجهزة :-

يتم الحصول على عزم التحكم لهذه الأجهزة بواسطة الزنبرك .

وعندما يتساوى عزم الانحراف مع عزم التحكم الناتج عن وجود الزنبرك فان مؤشر الجهاز يستقر عند القيمة المقاسة :-

$$T_d = T_c \Rightarrow \theta \propto I^2$$

٣-التخميد في هذه الأجهزة :-

يثبت على الطرف الآخر للقرص مغناطيس دائم على شكل حذوة الفرس يولد عزم التخميد ويمنع تذبذب المؤشر أثناء عملية القياس .

الأخطاء في أجهزة القياس الحثية :-

هنالك نوعان من الأخطاء في هذه الأجهزة :-

١-الخطــأ الــناتج عن التردد :-عزم الانحراف في هذه الأجهزة يعتمد على التردد ، ومــع أن تــردد التيار المقاس هو نفس تردد الأجهزة لكنه ينتج خطأ كبير في القيمة المقاســة بواســطة أجهــزة قياس التيار الحثية ، ويتم التخلص من هذه الأخطاء بجعل المقاومة المضافة على التوازي مع ملفات القياس مقاومة مادية صرفة .
أما في أجهزة قياس الجهد الحثية فان هذا الخطأ يكون قليلا نسبيا .

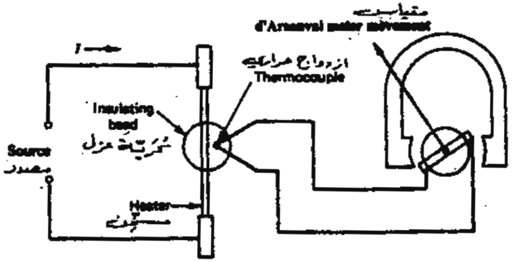
٢- الخطأ الناتج عن درجة الحرارة :- تنتج هذه الأخطاء نتيجة تغير درجة الحرارة في مسارات التيارات الإعصارية . يمكن التخلص من هذه الأخطاء بوصل مقاومات على التوازي في أجهزة قياس التيار والجهد.

خصائص هذه الأجهزة :-

١-لها تدريج قياس واسع .
٢-التخميد فيها فعال .
٣-عدم تأثرها بالمجالات المغناطيسية الشاردة .
٤-مفاقيد القدرة فيها مرتفعة وتكلفة تصنيعها مرتفعة .
٥-تستخدم لقياس التيار والجهد المتردد فقط .
٦-تغير التردد ودرجة الحرارة فيها يؤدي إلى وجود أخطاء في القيمة المقاسة .

٥- أجهزة القياس بازدواج حراري:- (Thermocouple Instruments)

الازدواج الحـــراري يـــتألف من معدنين مختلفين ويستخدم بشكل أساسي في تركيب جهاز القياس ، تلحم الوصلة المراد تسخينها من الازدواج الحراري مع سلك تسخين وتوضع المجموعة داخل أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء كما هو مبين بالشكل (٩-١٤) والوصـــلة غير الساخنة من الازدواج الحراري توصل مع جهاز قياس تيار ذي ملف متحرك .



شكل (٩-١٤)

عـــند مـــرور التيار المراد قياسه خلال سلك التسخين ونتيجة ارتفاع درجة حـــرارة الســـلك فان درجة حرارة الازدواج الحراري ترتفع في الوصلة الملحومة . وبارتفاع درجة الحرارة تزداد القوة الدافعة الكهربائية وتزيد قيمة التيار المار من خلال جهاز قياس التيار ذي الملف المتحرك .وانحراف المؤشر في جهاز قياس التيار يتناسب مع درجة الحرارة حيث أن كمية الحرارة الناتجة تتناسب مع مربع التيار ، ففي هذه الحالة يكون تدريج القياس لجهاز قياس التيار غير منتظم .

وهـــذا الـــنوع من أجهزة القياس مناسب لقياس قيم التيار المستمرة والمتناوبة وقياس تيارات الموجات الراديوية ذات الترددات المرتفعة .

ويمكن استخدام هذه الأجهزة لقياس درجات الحرارة العالية وذلك بمعرفة علاقة الجهد بدرجة الحرارة للمزدوج الحراري المستخدم .

ميزات هذه الأجهزة :-

١-تستخدم في دوائر التيار المستمر والمتناوب .

٢-تستخدم في قياس الترددات العالية حيث أن حساسيتها كبيرة لترددات تصل إلى 50 *MHz*.

٦-أجهزة قياس التردد:- (Frequency Meters):-

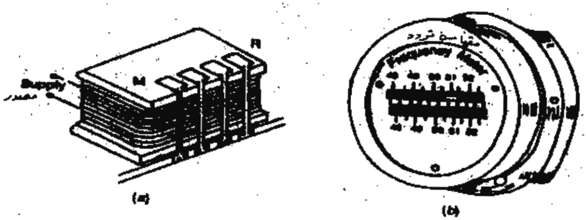
في دوائـــر التيار المتناوب يتطلب الأمر في كثير من الأحيان المحافظة على تردد ثابـــت للتيار ولهذا الهدف يتم ربط جهاز قياس التردد مع الدائرة لتحديد قيمة التردد بأي وقت .

وهنالك الكثير من أنواع أجهزة قياس التردد ابسطها :-

جهاز قياس التردد ذو الرقائق المهتزة :- Vibrating-reed Frequency Meter

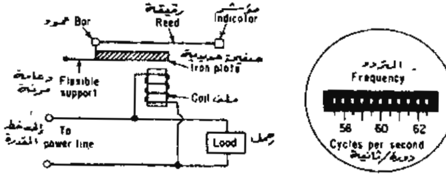
١-مبدأ العمل :-

يعتمد هذا الجهاز في مبدأ عمله على الاهتزاز الميكانيكي لريش معدنية منبسطة ورقيقة مرتبة بشكل طولي بالقرب من حقل مغناطيسي كما هو مبين في الشكل (٩-١٥) .



شكل(٩-١٥)

٢-التركيب :- يتألف هذا الجهاز كما هو مبين في الشكل (٩-١٦) من:-



شكل (٩-١٦)

١-حقـــل مغناطيـــي مؤلـــف من ملف ثابت (coil) مكون من عدد من اللفات ، مصـــنوعة مـــن ســـلك نحاسي دقيق ملفوف على قلب مصنوع من الحديد المطاوع ، موصـــول مـــع مقاومة على التوالي بمصدر جهد متناوب يراد قياس تردده . وطريقة توصـــيل هـــذا الجهـــاز مع مصدر التغذية تشبه طريقة توصيل جهاز قياس الجهد مع المصدر .

٢-يثبـــت ضمن المجال المغناطيسي للملف صفيحة من الحديد المطاوع (soft-iron plate) مثبتة من أحد أطرافها .

٣-عمود حديدي(iron bar) مثبت مع الصفيحة الحديدية ويتحرك معها .

٤ –مجموعــة مــن الرقائق المعدنية (reeds) موصولة مع القضيب المعدني لها حرية التذبذب ، وكل رقيقة من هذه الرقائق لها تردد طبيعي (natural frequency) يختلف بالتتابع عن الرقائق الأخرى بمقدار $\left(\frac{1}{2}\,cycle\right)$.

(التذبذب الطبيعي لمعدن هو التذبذب الذي عنده يتذبذب هذا المعدن نتيجة لخواص المعدن الفيزيائية مثل نوعية المعدن والطول والسماكة).

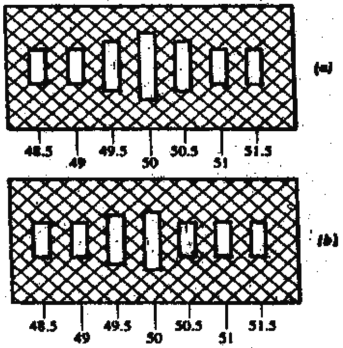
٥– مؤشرات خفيفة الوزن (light-weight indicators)مثبتة مع النهايات الحرة للرقائق .

مبدأ عمل الجهاز :–

عــندما يــتم وصل الملف مع مصدر التغذية المراد قياس تردده فان الصفيحة المعدنـــية سوف تتذبذب بتردد يساوي تردد المصدر ، وبالتالي فان الحقل المغناطيسي يــؤدي إلى توليد قوة تؤثر على كل الريش المعدنية الموصولة مع الصفيحة مرة واحدة خــلال نصف الدورة للمصدر المطبق ، حيث تحاول كل الريش التذبذب مع مصدر الــتغذية ولكــن الريش التي يكون ترددها الطبيعي ضعف تردد مصدر التغذية سوف تــتذبذب بقــوة اكبر من باقي الريش ، الشكل (٩–١٧–a) .ويمكن قراءة تردد المصدر مباشرة بمشاهدة علامات التدريج المقابل للخلفية البيضاء والتي في هذه الحالة تهتز اكثر من غيرها $(f = 50\ Hz)$.

الاهتزاز للريش الأخرى سوف يكون قليلا بحيث لا يمكن ملاحظته .

عــند تــردد يســاوي بالضــبط نصــف الــبعد عن التردد الطبيعي للريش القريبة $(f = 49.75\ Hz)$ فــان هذه الريش سوف تتذبذب بقيم متساوية ولكن اقل من تردد المصدر .



شكل(٩-١٧)

ميزات هذا النوع من الأجهزة :-

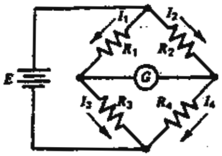
١-هذه الأجهزة مؤشراقا لا تعتمد على قيمة ولا على شكل موجة مصدر التغذية.

٢-لا تستطيع قراءة تردد اقل من نصف الفرق بين تردد الريش .

٣-الخطأ فيها يعتمد على دقة معايرة الريش من اجل تردد طبيعي معين .

٧-جسر ويتستون (The Wheatstone Bridge) :-

يستخدم من اجل القياس الدقيق للمقاومات . ويبين الشكل (٩-١٨) الدائرة الكهربائية لهذا الجسر . ويتألف من فرعين موصولين على التوازي كل فرع منهما يحتوي على مقاومتين موصولتين على التوالي. يوصل مصدر جهد dc بين طرفي التوازي يؤدي إلى مرور تيار من خلال وصلات المقاومات ويتم وصل جهاز قياس تيار صفري (جلفانوميتر) لبيان حالة الاتزان ، حيث يعتبر الجسر متزناً إذا كان تيار الجلفانوميتر صفراً. تصل دقة القياس في هذا الجسر إلى 0.1% .



شكل (٩–١٨)

يســتخدم جســر ويتستون من اجل قياس قيم المقاومات ، ويتم ذلك بوصل المقاومة المجهولــة في أحــد فــروع الجســر (في العادة R_4) ويتم معايرة المقاومات الأخرى للحصول على حالة التوازن ($I_G = 0$) .

عــند وضــع التوازن يكون $I_G = 0$ والجهد المطبق على كل من المقاومتين R_3 , R_4 متساوياً والجهد المطبق على كل من المقاومتين R_1 , R_2 متساوياً كذلك .

$$I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2 \;.........(1)$$
$$I_3 \times R_3 = I_4 \times R_4 \;.........(2)$$

وفي حالة التوازن أي $I_G = 0$ يكون:—

$$I_1 = I_3 \quad , \quad I_2 = I_4$$
$$I_3 \times R_3 = I_4 \times R_4 \Rightarrow I_1 \times R_3 = I_2 \times R_4 \;......(3)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (3) يكون :—

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \Rightarrow R_1 \times R_4 = R_2 \times R_3$$

مــثال (٩–١) :– في جسر ويتستون المبين في الشكل (٩–١٨) حدد قيمة المقاومة المجهولة R_4 إذا كانت قيم المقاومات في حالة التوازن هي :—

$$R_1 = 10K\Omega, R_2 = 15K\Omega, R_3 = 32K\Omega \; .$$

الحل :— $R_4 = \frac{R_2 . R_3}{R_1} = \frac{15 \times 32}{10} = 48K\Omega$

مجزئ الجهد/البوتنشيوميتر (Potentiometer) :-

مجزئات الجهد المستمر:-

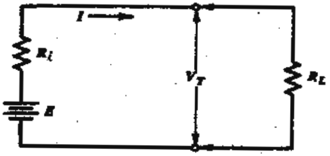
تسمى أجهزة القياس التوازنية التي تعتمد على مبدأ تجزئة الجهد للحصول على التوازن مجزئات الجهد المستمر القياسية وتستخدم لقياس الجهد بدقة عالية وتعتمد على تقنية المقارنة المباشرة بين القيمة المعيارية والقيمة المجهولة .

إن استخدام أجهزة القياس لقياس محددات معينة في الغالب يؤدي إلى وجود خطأ معين نتيجة وصل هذه الأجهزة مع الدوائر الكهربائية وهو ما يسمى خطأ التحميل (Loading Effect) .

عندما يراد الحصول على دقة قياس عالية فانه لابد من وجود طريقه أخرى للقياس غير الاستخدام المباشر لأجهزة القياس . يتم ذلك باستخدام مبدأ التوازن ، أي تصميم دائرة تكون محصلة التيار المار فيها تساوي الصفر . ويتم ذلك بوصل مصدر تغذية مساوٍ لمصدر التغذية الأساسي في المقدار ومعاكس له في الاتجاه بحيث تصبح قيمة التيار المار في الدائرة مساوية الصفر .

وهذه العملية تتطلب وجود مصدر جهد عياري ووجود جهاز قياس تيار يعطي قيمة الصفر الحقيقية لمرور التيار (جلفانوميتر) .

لتوضيح اثر التحميل يمكن أن نأخذ الدائرة المبينة في الشكل (٩-١٩) :-



شكل (٩-١٩)

حيث أن :- E - مصدر جهد (بطارية) .

R_i - المقاومة الداخلية لمصدر الجهد .

V_T - فرق الجهد على طرفي البطارية .

R_L - مقاومة الحمل .

I - التيار.

بتطبيق قانون كير شوف على الدائرة :-

$$E - I\ R_i - I\ R_L = 0 \Rightarrow E = I(R_i + R_L)$$
$$I\ R_L = E - I\ R_i$$
$$V_T = I\ R_L \Rightarrow V_T = E - I\ R_i$$

من المعادلة نلاحظ أن الجهد المقاس على طرفي الحمل يساوي القوة الدافعة الكهربائية للبطارية مطروحا منها الجهد الهابط على المقاومة الداخلية للمصدر . وكذلك فان :-

$$I = \frac{E}{R_i + R_L}$$

وفي معظم الحالات فان ($R_L >> R_i$) وبالتالي فان :- $I \approx \frac{E}{R_L}$

وبالتالي فان :-

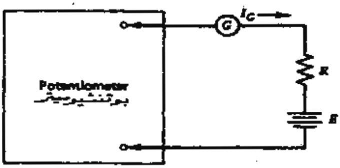
$$V_T = E - E\frac{R_i}{R_L} = E(1 - \frac{R_i}{R_L})$$

ويمكـــن تقلـــيل الخطـــأ بزيادة قيمة R_L ولكن في النهاية فان الخطأ لا يزال موجودا بسبب خطأ التحميل لجهاز قياس الجهد .

البوتنشـــيوميتر :- هـــي أحد الحلول للمشاكل السابقة . وتعتمد في مبدأ عملها على مرور تيار يساوي الصفر في دائرة القياس .

الدائرة الأساسية للبوتنشيوميتر مبينة في الشكل (٩-٢٠)

G - جلفانو ميتر وهو جهاز قياس تيار حساس جدا.

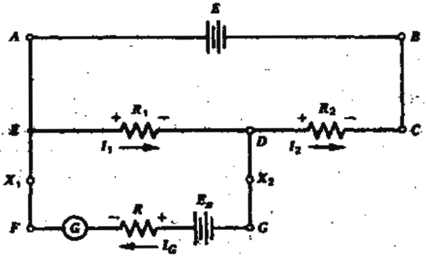


شكل (٩-٢٠)

والغايـــة من استخدام البوتنشيوميتر هي قياس جهد غير معلوم عن طريق مقارنته بجهـــد آخر معلوم بدون تحميل *الدائرة أثناء عملية القياس ، حيث يتم وصل الدائرة المقاسة إلى طرفي البوتنشيوميتر والحصول على قيمة الصفر في الجلفانوميتر .

الدائرة المكافئة للبوتنشيوميتر أثناء عملية القياس :-

الدائرة الكهربائية المكافئة للبوتنشيوميتر مبينة في الشكل (٩-٢١) .



شكل (٩-٢١)

حيث أن :- E - مصدر جهد داخلي يعمل على تغذية الدائرة .

R_1 , R_2 - مقاومات متغيرة .

E_X - المصدر المراد قياسه .

G - جلفانوميتر .

يمكن كتابة قانون كير شوف للحلقة الأولى ($ABCDEA$) كالتالي :-

$$E - I_2R_2 - I_1R_1 = 0 \Rightarrow E = I_1R_1 + I_2R_2$$

للحلقة الثانية ($DEFGD$) :-

$$E_X - I_GR - I_1R_1 = 0 \Rightarrow E_X = I_GR + I_1R_1 \quad ......(1)$$

بكتابة قانون كير شوف للعقدة (D) :-

$$I_2 + I_G - I_1 = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 + I_G \cdots\cdots(2)$$

يستم هنا معايرة دائرة البوتنشيوميتر من اجل الحصول على تيار($I_G = 0$) ، وهي تمثل الحالة الحدية للدائرة .

بالتعويض في المعادلات السابقة نحصل على :-

$$E_X = I_1R_1$$
$$I_1 = I_2$$

بالتعويض في المعادلات السابقة :-

$$E = I_1R_1 + I_2R_2 = I_1(R_1 + R_2) \Rightarrow I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$E_X = E\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

بعد ذلك يتم إزالة المصدر (E_X) غير المعلوم ما بين الطرفين X_1, X_2 ويوضع مكانه مصــدر مرجعي E_S ليتم الحصول على الاتزان مرة أخرى . وتسجل قيم المقاومات R_1, R_2 وتصبح المعادلات كالتالي :-

$$E_S = E\frac{R_{1(S)}}{R_{1(S)} + R_{2(S)}}; \quad E_X = E\frac{R_{1(X)}}{R_{1(X)} + R_{2(X)}} \quad \Rightarrow$$

$$\frac{E_X}{E_S} = \frac{ER_{1(X)}/(R_{1(X)} + R_{2(X)})}{ER_{1(S)}/(R_{1(S)} + R_{2(S)})} = \frac{R_{1(X)}\left[R_{1(S)} + R_{2(S)}\right]}{R_{1(S)}\left[R_{1(X)} + R_{2(X)}\right]}$$

ولكن مجموع R_1, R_2 في الحالتين يساوي مقداراً ثابتاً ، أي أن :-

$$R_{1(S)} + R_{2(S)} = R_{1(X)} + R_{2(X)}$$

فان :-

$$\frac{E_X}{E_S} = \frac{R_{1(X)}}{R_{1(S)}} \Rightarrow E_X = E_S \frac{R_{1(X)}}{R_{1(S)}}$$

العلاقة النهائية تكون صحيحة في حال كون $R_G = 0$.

ودقة القياس تعتمد على الخاصية الخطية للمقاومات R_1, R_2 ودقة مصدر الجهد E_S .

وفي العـــادة تكون المقاومات R_1, R_2 عبارة عن مقاومات سلكية بطول معين وبالتالي يمكن كتابة المعادلة الأخيرة بالشكل التالي:-

$$E_X = E_S \frac{L_{1(X)}}{L_{1(S)}}$$

٨-أجهزة القياس الرقمية (Digital Measuring Instruments) :-

لقـــد تقدم علم الإلكترونيات تقدما سريعا في الآونة الأخيرة وكذلك طرأت تحســـينات مـــلحوظة عـــلى تصـــاميم مخـــتلف الأجهزة الإلكترونية بما فيها أجهزة القـــياس.ولقد أصبحت الدوائر الرقمية (Digital Circuits) تحتل نسبة لابأس بها في الأجهزة الإلكترونية عامة وأجهزة القياس بشكل خاص .

وهـــنالك مزايا هامة تتميز بها الأجهزة الرقمية بالمقارنة مع الأجهزة التمثيلية (Analogue Instruments) منها:-

١-قـــراءة الكميات المراد قياسها على وحدة إظهار رقمية ، وهذا لا يتطلب وقتاً طويلاً لإتمام عملية القياس .

٢-تعتبر هذه الأجهزة ذات دقة عالية بتكلفة إنتاج قليلة .

٣-تتمتع باستقرارية عالية في القراءة مما يؤدي إلى تقليل عدد المديات المستخدمة لتغطية جميع القراءات.

٤-التخلص من الأخطاء الشخصية .

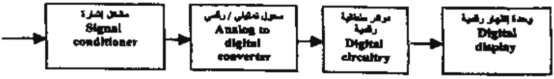
ونظرا لان الإشارات الكهربائية التي نتعامل معها هي في غالبيتها العظمى إشارات تمثيلية (Analogue Signals) ، لذا وجب تحويلها إلى إشارات رقمية (Digital Signals) عند قياسها وتحليلها باستخدام أجهزة القياس الرقمية .

وفي هذا المقام لابد من التفريق بين أجهزة القياس الرقمية وأجهزة القياس ذات القراءة الرقمية ، حيث يقصد بأجهزة القياس الرقمية (Digital Instruments) الأجهزة التي دوائرها الأساسية ذات تصميم رقمي ، بينما أجهزة القياس ذات القراءة الرقمية (Digital Readout Instruments) في العادة أجهزة (عادية) تمثيلية تحتوي على دوائر قراءة رقمية فقط (تماثل هذه الدوائر التدريج والمؤشر في الأجهزة التمثيلية) .

نظرا لان أجهزة القياس الرقمية تستخدم لقياس إشارات تمثيلية فلا مفر من تحويل الإشارات التمثيلية إلى إشارات رقمية ليتمكن جهاز القياس الرقمي من قياسها .

وتسمى الدوائر التي تستخدم لهذا الغرض المحولات من النظام التمثيلي إلى النظام الرقمي (Analogue to Digital Converters) . ومن الجدير بالذكر أن هنالك دوائر تقوم بتحويل الإشارات الرقمية إلى إشارات تمثيلية ويطلق عليها اسم المحولات من النظام الرقمي إلى النظام التمثيلي (Digital to Analogue Converters) .

يوضح الشكل (٩-٢٢) المخطط الصندوقي لجهاز قياس رقمي :-

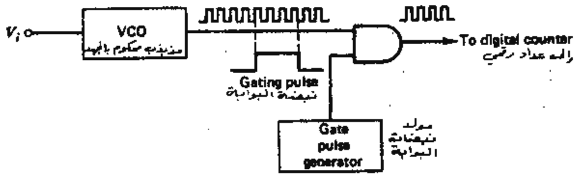


شكل (٩-٢٢)

وهـــنالك عـــدة أنـــواع من المحولات من النظام التمثيلي إلى النظام الرقمي وسنقوم بتوضيح مبدأ عمل أحد هذه الأنواع وهو :-

محول من فرق جهد إلى تردد (Voltage to Frequency Converter) :-

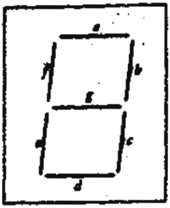
الشكل (٩-٢٣) يبين الدائرة الأساسية لمحول فرق الجهد – التردد:-



شكل (٩-٢٣)

تـتكون دائـرة هـذا المحـول من مذبذب متحكم به عن طريق فرق الجهد (Voltage Controlled Oscillator) لتغـذى الإشـارة على مخرجه إلى أحد مدخلي بوابـة (AND) ، أما المدخل الآخر للبوابة فيوصل مع مولد نبضات . والبوابة تعطي إشـارة على مخرجها في حالة وجود إشارة على كل من مدخليها وتكون هذه الإشارة على شكل نبضات يمكن إيصالها إلى عداد رقمي يقوم بعملية العد . وعادة يكون تردد هذه الإشارة متناسبا مع فرق الجهد المقاس .

ويظهر الرقم عادة من خلال وحدة الإظهار الرقمية المسماة وحدة الإظهار سباعية القطاعات (7- Segment Display) التي يمكن بواسطتها إظهار أي رقم من 0 إلى 9 كما هو مبين في الشكل (٩-٢٤) :-



شكل (٩-٢٤)

جهاز القياس الرقمي متعدد الأغراض (Digital Multimeter):-

يـــتكون جهاز القياس الرقمي متعدد الأغراض من أحد الأنواع التي تم ذكرها ســـابقا لـــلمحولات من النظام التمثيلي إلى النظام الرقمي ، بالإضافة إلى أحد أنواع دوائر العد ، ودائرة قراءة رقمية .

ويـــستخدم الجهاز الرقمي متعدد الأغراض لقياس كل من فرق الجهد المباشر وفرق الجهد المتناوب ، والتيار المباشر والتيار المتناوب بالإضافة إلى المقاومة .

٩-جهاز راسم الإشارة (Oscilloscope) :-

جهـــاز راســـم الإشارة يعتبر من أجهزة القياس الهامة المستخدمة في الدوائر الكهربائـــية والإلكترونـــية ، حيـــث يســـتخدم لقياس الجهود لدوائر التيار المتناوب والمســـتمر وقياس التيارات بطرق غير مباشرة وقياس الزمن الدوري للإشارات وقياس فـــرق الطـــور وقياس التردد وتحديد أشكال الموجات الكهربائية ، ويمكن استخدامه لقـــياس كميات غير كهربائية مثل الضغط والحرارة باستخدام محولات الطاقة لتحويل المقادير الفيزيائية إلى جهود مكافئة .

يتألف راسم الإشارة من الأجزاء الرئيسية التالية :-

١-أنبوب أشعة المهبط (CRT) **Cathode Ray Tube**.

٢-دوائر التكبير العمودية **Vertical Amplifier**.

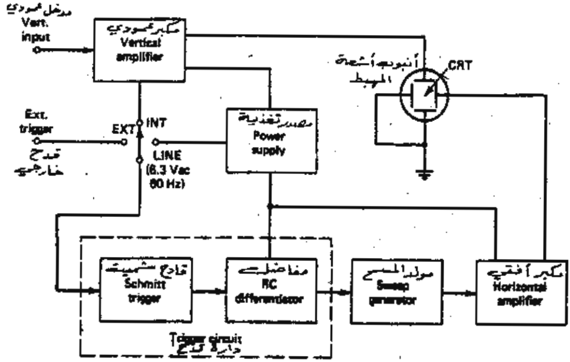
٣-دوائر التكبير الأفقية **Horizontal Amplifier**.

٤-دوائر المسح **Sweep Generator**.

٥-دوائر القدح **Trigger Circuits**.

٦-مصادر التغذية المرافقة **Associated Power Supplies** .

والشكل (٩-٢٥) يبين المخطط الصندوقي لجهاز راسم الإشارة باستخدام دوائر قدح داخلية .



شكل(٩-٢٥)

١-أنبوب أشعة المهبط:-

أنبوب أشعة المهبط المستخدم في راسم الإشارة هو شبيه إلى حد كبير بأنبوب الصورة في جهاز التلفزيون . ويصنع بأقطار تتراوح من *1 inch* لغاية *25 inch* أو أكثر . ومعظم الأجهزة المختبرية تستخدم أجهزة راسم إشارة قياسية بحدود (*5 inch*). جميع التوصيلات الكهربائية ما عدا الجهد المرتفع تتم من خلال قاعدة أنبوب أشعة المهبط.

يتألف أنبوب أشعة المهبط كما هو مبين في الشكل (٩-٢٦) من الأجزاء الرئيسية التالية:-

أ-أنبوب زجاجي مفرغ (**Evacuated Glass Envelope**) :-

وهو عبارة عن أنبوب مفرغ لدرجة عالية للسماح للحزمة الإلكترونية بالانتقال داخل الأنبوب بسهولة.

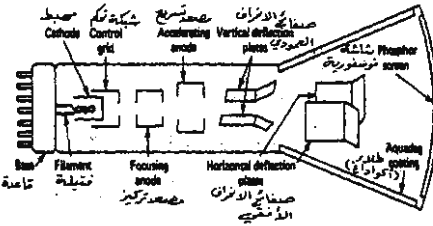
ب-وحدة قذف الإلكترونات (**Electron Gun Assembly**) :-

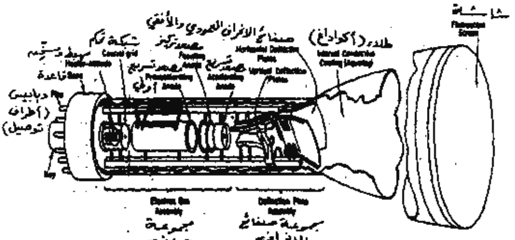
وهي تتألف من مهبط مسخن تسخينا غير مباشر باستخدام مسخن وشبكة تحكم (**Control Grid**) ومصعد التركيز (**Focusing Anode**) ومصعد التسارع (**Acceleration Anode**) . الهدف من وحدة قذف الإلكترونات هو توليد حزمة إلكترونات تركز وتسرع ضمن حزمة باتجاه الشاشة المطلية بالفسفور .

ج-مجموعة صفائح الانحراف (**Deflection Plate Assembly**) :-

الإلكترونات التي تشكل الحزمة تنتج عن الانبعاث الايوني الحراري للمهبط المسخن (**Thermionic Emission**) ، حيث أن هذا المهبط يكون محاطا بغلاف اسطواني بشحنة سالبة يسمى شبكة التحكم ، وهذه الشبكة تعمل على تركيز شحنة الإلكترونات حيث أن الإلكترونات هي بالأساس ذات شحنة سالبة فإنها تبتعد عن الغلاف .

وتجبر الإلكترونات على المرور من خلال ثقب صغير على محور أنبوب أشعة المهبط داخل الحقل الكهربائي لمصعد التركيز ومصعد التسارع حيث يتم تركيز وتسريع هذه الحزمة ، وتمر هذه الحزمة باتجاه الشاشة من خلال زوجين من صفائح الانحراف الأفقية والعمودية ، حيث أن الصفائح الأفقية لتحكم بالحركة الأفقية للحزمة والصفائح العمودية لتحكم بالحركة العمودية للحزمة لتصطدم أخيراً بالشاشة.





شكل (٩-٢٦)

انحـــراف الإلكـــترونات خــلال أنــبوب أشــعة المهــبط يدعى الانحراف الكهروســتاتيكي ، حيث أن انحراف الإلكترون يتم من خلال القوة المطبقة على كل إلكـــترون بواســطة الحقـــل الكهربائي ، بينما هنالك نوع آخر من الانحراف يدعى الانحــراف المغناطيـسي ويستخدم في الحالات التي تكون فيها مسافة الانحراف كبيرة كما في شاشة التلفزيون .

د-الشاشة المطلية بالفسفور **(Phosphor-coated Screen)** :-

عندما تصطدم حزمة الإلكترونات بسطح الشاشة المطلية بالفسفور فانه ينتج عن ذلك الاصــطدام حــزمة ضوئية حيث تتحول طاقة اصطدام الإلكترون بالفسفور إلى طاقة ضــوئية ، حيث أن الفسفور هو عنصر مشع (فلورسنتي) يستمر في الإشعاع لفترة زمنــية محــددة بعد زوال القوى المؤثرة عليه ويصنف إلى عدة أنواع من حيث فترة الإشعاع :-

١-فترة إشعاع قصيرة تستمر عدة (مايكرو ثانية *µ Sec*).

٢-فترة إشعاع متوسطة تستمر عدة (ميلي ثانية *m Sec*).

٣-فترة إشعاع طويلة تستمر عدة (ثوانٍ *Sec*).

ونتيجة لاصطدام حزمة الإلكترونات بسرعة عالية بالشاشة فان جزءاً من هذه الحزمة ســوف يــرتد في الاتجــاه المعاكس أو يولد انبعاثاً ثانوياً **(Secondary Emission)** وللتقلــيل مــن ذلك يتم طلاء جوانب أنبوب أشعة المهبط (باستثناء الشاشة) بمادة جرافيتية تدعى بالاكواداغ **(Aquadag)**.

في حالات العمل الطبيعية لاستخدام راسم الإشارة لابد من إجراء بعض عمليات الضبط لحزمة الإلكترونات وهي :-

١-ضبط كثافة حزمة الإلكترونات (Intensity Control)ويتم عن طريق وصل مقاومة متغيرة مع شبكة التحكم (Control Grid) حيث يكون جهد شبكة التحكم سالبا بالنسبة للمهبط .

وبالتالي بتغيير مفتاح الكثافة (المقاومة المتغيرة) فانه يمكن التحكم بعدد الإلكترونات التي تمر من خلال الثقب في شبكة التحكم وبالتالي التحكم بشدة الإضاءة للنقاط على الشاشة .

٢-ضبط الرؤية الواضحة (التركيز) (Focus Control) يتم ذلك بوصل مقاومة متغيرة إلى مهبط الرؤية (التركيز) (Focus Anode) .إن مهبط التركيز ومهبط التسارع يشكلان عدسة كهروستاتيكية لتجميع الإلكترونات بشكل حزمة دقيقة . في العادة الحزمة ذات الرؤية الحادة في مركز الشاشة سوف تكون خارج مجال الرؤية بالقرب من الحواف لان طول المسار للإلكترون يختلف عند انحراف الحزمة .

٣-ضبط اللابؤرية(اللانقطية) (Astigmatism Control) يتم بوصل مقاومة متغيرة مع مصعد التسارع (Accelerating Anode) .

٤-تحديد مكان الإشارة على الشاشة (Vertical and Horizontal Positions) يتم بوصل مقاومات متغيرة مع صفائح الانحراف الأفقية والعمودية (Vertical and Horizontal Plates). عند ضبط هذه المفاتيح في وضع المنتصف فان الجهد المنعكس يتوزع بالتساوي على المقاومة المتغيرة وبالتالي فانه لا يوجد انحراف للحزمة في هذه الحالة وإنما تمر الحزمة من خلال الثقب في شبكة التحكم إلى منتصف الشاشة مباشرة .إن تغيير وضع المفاتيح يؤدي إلى انحراف الحزمة إلى أي مكان على الشاشة .

مكبرات راسم الإشارة :-

إن الغاية من جهاز راسم الإشارة هو إظهار الإشارة المطبقة على مدخله بشكل واضح ، ولتحقيق هذا الهدف فانه لابد من تصميم دوائر التكبير للجهاز بشكل سليم . وتصنف المكبرات المستخدمة في جهاز راسم الإشارة تبعا لمحددات مختلفة منها:-

١-نوعية المكبرات المستخدمة :- مكبرات التيار المباشر (**dc-coupled**) أو مكبرات التيار المتناوب (**ac-coupled**) .الشائع الاستخدام هي مكبرات التيار المستمر بالرغم من ارتفاع سعرها حيث أنها تمتاز بالميزات التالية :-

أ-تعطي جهداً مستمراً نقياً وإشارات جهود متناوبة نقية أيضا .

ب-تمكن من التخلص من مشاكل فرق الطور في الترددات المنخفضة، والتخلص من التوافقيات المرافقة للموجات النبضية ذات الترددات المنخفضة .

٢-بالنسبة للنطاق الترددي (**Bandwidth**) :- وهو بنوعين نطاق ترددي عريض أو نطاق ترددي ضيق (**Broad Band or Narrow Band**) وهذا التصنيف غير محدد بشكل مطلق ولكنه حسب الشائع فإذا كان تردد الموجة لا يزيد عن **3.58 *MHz*** فان المكبر في هذه الحالة يصنف بمكبر ذي نطاق ضيق ، وإذا كان تردد الموجة يزيد عن ذلك فيصنف المكبر بمكبر ذي نطاق عريض .

ومعظم أجهزة راسم الإشارة تستجيب لترددات بحدود ***5MHz*** لذلك فان المكبرات المستخدمة في هذه الأجهزة من نوع المكبرات ذات النطاق الترددي العريض .

٢-دوائر التكبير العمودية :-

يعتبر المكبر العمودي في جهاز راسم الإشارة العنصر الأساسي لتحديد الحساسية والنطاق الترددي للجهاز .

الحساسية تعطى بشكل عام بالفولت لكل سنتمتر للانعكاس العمودي لتردد الموجة الوسطية .

في العادة يتم الحصول على حساسية عالية على حساب النطاق الترددي ، وذلك لان حاصل ضرب الكسب (Gain) في النطاق الترددي (Bandwidth) لمكبر ما يكون ثابتا .

ويحـدد كسـب المكـبر (معامل التكبير) قيمة اصغر إشارة يمكن رسمها أو إظهارها على شاشة جهاز راسم الإشارة بشكل مقبول.وحساسية جهاز راسم الإشارة تتناسب طرديا مع كسب المكبر العامودي حيث بازدياد الكسب تزداد الحساسية .

الحساسـية العمودية تعطي مؤشراً لمدى انحراف حزمة الإلكترونات من اجل إشارة دخل معينة .

في مقدمـة جهاز راسم الإشارة يوجد مفتاح دوار مسمى (volt/division) وهـذا المفـتاح موصول، كهربائيا إلى مدخل شبكة التخميد (Attenuator Grid)، وبضبط المفتاح يتم تحديد قيمة الإشارة اللازمة لانحراف الحزمة عموديا لجزء واحد .

كمثال إذا كان وضع الحساسية الكبرى للمفتاح هو 5 mV/division ، فان الحساسية العمودية لجهاز راسم الإشارة هي 5 mV/division .

النطاق الترددي لجهاز راسم الإشارة يحدد مدى الترددات التي يمكن إظهارها على شاشة أنبوب الأشعة المهبطية .

كلما كان المجال الترددي اكبر كان عرض حزمة هذه الترددات اكبر . وفي العادة يفضل استخدام المكبرات عريضة النطاق (Broadband Amplifiers) كمكبرات عامودية وذلك لتوفير إمكانية إظهار الإشارات الكهربائية على نطاق واسع من الترددات على شاشة راسم الإشارة .

ويجب أن يكون الكسب لمكبر المجال الترددي العريض ثابتا من قيمة DC إلى قيمة قريبة للحد الأعلى لمجال التردد الذي يمكن الحصول عليه من جهاز راسم الإشارة .

من إحدى المواصفات التي تتضمنها استمارة المواصفات للمكبرات ذات النطاق الترددي العريض هي زمن الصعود(Rise time) ، ويعرف زمن الصعود لنبضة معينة بأنه الزمن المطلوب لقمة الموجة للارتفاع من 10 % إلى 90 % من القيمة العظمى للنبضة . وعند استخدام جهاز راسم الإشارة لتحديد نبضة أو موجة مربعة فان زمن الصعود للجهاز يجب أن يكون أسرع من زمن الصعود للنبضة أو الموجة المربعة وبعكس ذلك فان الإشارة سوف تكون مشوهة .

٣-دوائر التكبير الأفقية :-

إن دوائر التكبير الأفقية بشكل أساسي تحقق هدفين هما:-

١-عندما يكون جهاز الإشارة يعمل ضمن الظروف الطبيعية من اجل إظهار إشارة دخل مطبقة على المدخل العمودي فان المكبر الأفقي سوف يكبر مخرج دوائر التسطير(المسح) .

٢-عند استخدام جهاز راسم الإشارة في وضع (X-Y) (من اجل قياس التردد أو فرق الطور) فان الإشارة المطبقة على المدخل الأفقي سوف يتم تكبيرها بواسطة المكبر الأفقي .

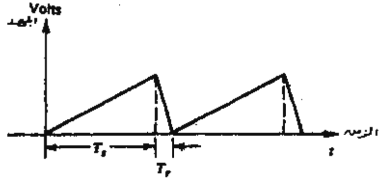
عندما يعمل جهاز راسم الإشارة في حالات العمل الاعتيادية فان متطلبات الحساسية والنطاق الترددي للمكبر الأفقي لا تكون بنفس حدها للمكبر العمودي . وكذلك فانه يجب على المكبر العمودي أن يكون قادرا على توفير إشارة بقيمة منخفضة وتردد مرتفع بزمن صعود سريع .

والمطلب الوحيد من المكبر الأفقي هو أن تكون له القدرة على تكبير الإشارة الخارجة مــن مولد التسطير الأفقي (تامين إشارة مسح مطابقة ذات قيمة مرتفعة بفترة صعود زمني قليل).

دائرة التخميد (Attenuator Network) تخفض بواسطة مجزئ الجهد إشارة الدخل الأفقية إلى حد يساوي قيمة الحساسية للمكبر الأفقي .

٤-مولد التسطير (Sweep Generator) :-

يستخدم راسم الإشارة في العادة لتحديد شكل إشارة تتغير مع الزمن ، وحتى يــتم تحديــد شــكل الإشــارة بشكل سليم فيجب أن تكون السرعة الأفقية لحزمة الإلكــترونات ثابــتة ، وبما أن سرعة الحزمة تعتمد على جهد الانحراف فيجب زيادة جهد الانحراف بشكل خطي مع الزمن . والجهد الذي يمتلك هذه الخاصية يدعى الجهد المــنحدر (Ramp voltage) والموجــة الــناتجة عــنه تدعــى موجة من المنشار (Sawtooth waveform) كما هو مبين في الشكل (٩-٢٧).



شكل (٩-٢٧)

خــلال الفترة الزمنية T_s (Sweep Time) تتحرك حزمة الإلكترونات من اليســار إلى الــيمين على شاشة أنبوب أشعة المهبط (CRT) ، والحزمة تنحرف إلى اليمين بزيادة قيمة الجهد .

خـــلال الفترة الزمنية T_r (Retrace Time) تعود الحزمة بسرعة إلى الجهة اليســــرى للشاشة .وهذه الفترة الزمنية يجب أن تكون اقل ما يمكن من اجل الحصول على موجة غير مشوهة .

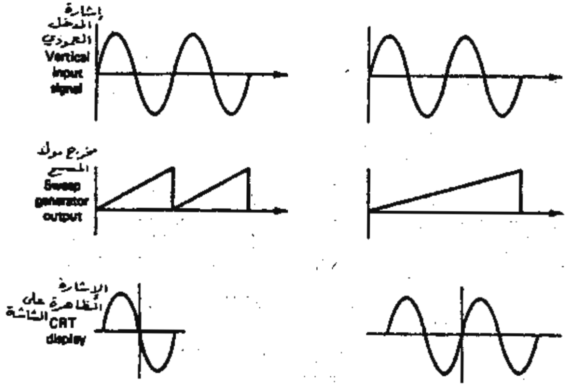
بما أن الإشارات بترددات مختلفة يمكن إظهارها على جهاز راسم الإشارة وبالتالي لابد مـــن التحكم بنسبة الانحراف ، ونستطيع تغيير نسبة الانحراف على مراحل باستخدام عدة مكثفات في الدائرة .ويستخدم المفتاح (.Time/div) من اجل هذه الغاية .

التزامن في جهاز راسم الإشارة :-

إن معظم الإشارات التي نقوم بإظهارها على شاشة راسم الإشارة تكون ذات ترددات أعلى من الترددات التي تتيح للعين البشرية ملاحظة عملية تكرار الإشارة . فـــإذا أردنـــا أن نظهـــر هذه التغيرات السريعة بصورة دقيقة وواضحة فان الشعاع الإلكـــتروني يجب أن يتحرك على الشاشة بدقة متناهية بحيث يرسم في كل مرة المسار نفســـه . والشـــعاع الإلكتروني يعيد رسم المسار نفسه على شاشة راسم الإشارة إذا توفر شرط التزامن بين إشارة المكبر العمودي وإشارة مولد التسطير .

ويعـــني ذلـــك أن تكون الفترة الزمنية لإشارة مولد إشارة التسطير مـساوية تماما (أو تســـاوي أحد أضعاف) الفترة الزمنية للإشارة الداخلة على المكبر العمودي كما هو مـــبين في الشكل (٩-٢٨) . وفي حالة عدم توفر شرط التزامن فان الإشارة تتحرك على الشاشة أي لا تكون ثابتة .

فإذا تحركت الإشارة المرسومة إلى اليمين فان تردد إشارة مولد التسطير يكون اعـــلى مـــن تـــردد الاشارة الداخلة على المكبر العمودي . أما إذا تحركت الإشارة المرســـومة إلى اليســـار فـــان تردد إشارة مولد التسطير يكون اقل من تردد الإشارة الداخلة على المكبر العمودي.



شكل (٩-٢٨)

التخميد في جهاز راسم الإشارة (Attenuation):-

التخمـــيد يعني تقليل فرق جهد الإشارة ، ويستخدم التخميد في جهاز راسم الإشارة لتقلـــيل الجهود المرتفعة قبل إدخالها على المكبرات . والمخمدات المستخدمة في العادة عبارة عن مقاومات .

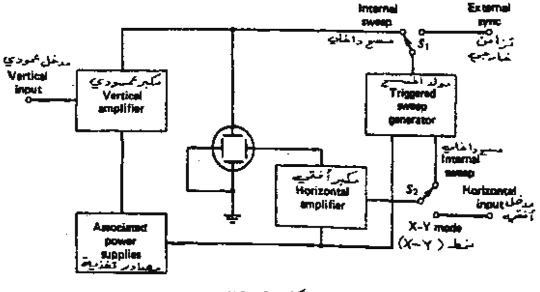
الشـــكل(٩-٢٩) يبين المخطط الصندوقي الأساسي لجهاز راسم الإشارة (Basic Oscilloscope) ، حيـــث يـــبين هـــذا المخطط الأجزاء الرئيسة المكونة لجهاز راسم الإشـــارة ، أنـــبوبة أشعة المهبط والتي تشكل القلب النابض لجهاز راسم الإشارة هي بمفردها لا تعطي سوى إمكانية لظهور نقطة مضيئة على الشاشة ، لذا لا بد من إضافة دوائـــر إلكترونـــية مع أنبوبة أشعة المهبط من اجل الحصول على جهاز قياس وعلى إمكانية لرسم الإشارات الكهربائية .

وحسب المخطط الصندوقي لراسم الإشارة فانه يتم إدخال الإشارة المراد قياسها على المدخل العمودي للجهاز ، حيث تغذى هذه الإشارة إلى المكبر العمودي فيتم تكبيرها ثم تغذى إلى الصفائح العمودية مما يؤدي إلى انحراف الشعاع الإلكتروني عموديا .

مخـــرج المكـــبر العمـــودي متصل مع دائرة القدح التي تعمل على قدح مولد إشارة التسطير الأفقي .

الهـــدف من مولد إشارة التسطير الأفقي هو توليد فرق جهد يتزايد خلال فترة زمنية محددة (توليد إشارة سن المنشار) وتعمل إشارة سن المنشار على توفير إمكانية انحراف الشـــعاع الإلكتروني أفقيا على فترات زمنية متساوية .ويعمل المكبر الأفقي على تكبير هذه الإشارة قبل وصولها إلى صفائح الانحراف الأفقية .

وعـــند قياس فرق الطور أو التردد يكون المفتاح في وضع X-Y ، حيث يقوم المكبر الأفقي بتكبير الإشارة . ولظهور الإشارة على شاشة جهاز راسم الإشارة فانه لابد من تحقيق شرط التزامن بين إشارة المكبر العمودي وإشارة مولد التسطير .



شكل (٩-٢٩)

استخدام جهاز راسم الإشارة في الصيانة :-

يعد جهاز راسم الإشارة من الأجهزة بالغة الأهمية في صيانة الأجهزة الإلكترونية . ومن الأمثلة على الأجهزة التي يفيد راسم الإشارة كثيرا في فحصها وصيانتها أجهزة الراديو والتلفزيون . وتحوي مخططات هذه الأجهزة على نقط فحص سجلت عليها قيم فروق الجهد والترددات وأشكال الإشارات ، حيث يمكن التحقق من هذه القيم والأشكال باستخدام راسم الإشارة .

ويفيد جهاز راسم الإشارة في تحديد المرحلة المعطلة من الجهاز أولا ومن ثم العنصر الإلكتروني المعطل .

ويمكن استخدام جهاز راسم الإشارة في فحص القطع الإلكترونية كالمقاومات والمكثفات والملفات والديودات والترانزستورات من حيث صلاحيتها والكشف عن أعطالها .

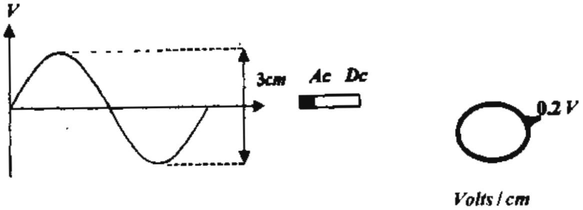
وجهاز راسم الإشارة يوفر إمكانية مشاهدة الإشارة والتي تفيد كثيرا في الحكم الأولي على الجهاز المراد فحصه .

تطبيقات على جهاز راسم الإشارة :-

١-قياس فرق الجهد :-

يستخدم جهاز راسم الإشارة في قياس فرق الجهد المتناوب والمستمر . ونحصل على قيمة فرق الجهد من خلال ضرب عدد السنتمترات العمودية في وضعية مفتاح فرق الجهد (Volt/cm) ، كما هو مبين في الشكل (٩-٣٠) من اجل قياس فرق الجهد لموجة جهد متناوب وكذلك لموجة جهد مستمر .

أ–من اجل موجة جهد متناوب :–



$$V_{peak-peak} = 3\ cm \times 0.2\ Volt/cm = 0.6\ V$$

ب– من اجل موجة جهد مستمر :–



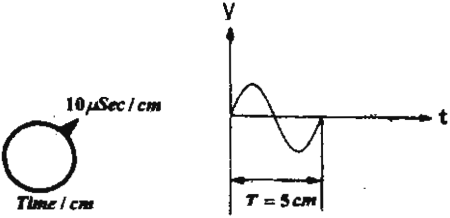
$$V = 2\ cm \times 0.2\ Volt/cm = 0.4V$$

شكل (٩–٣٠)

٢–قياس الزمن الدوري :–

يحسب الزمن الدوري للإشارات الظاهرة على شاشة جهاز راسم الإشارة كما هو مبين في الشكل (٩–٣١) ، عن طريق ضرب عدد السنتمترات الأفقية من بداية الموجة وحتى نهايتها (بين أي نقطتين لهما نفس الطور ومتتاليتين) في وضعية مفتاح الزمن (Time/cm) .

ويحسب التردد من العلاقة:– $f = \frac{1}{T}$



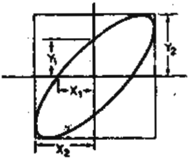
شكل (٩-٣١)

$$T = 5\,cm \times 10\,\frac{\mu\ Sec}{cm} = 50\ \mu\ Sec$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{50 \times 10^{-6}} = \frac{10^{6}}{50} = 20\ \ KHz$$

٣-قياس فرق الطور بين إشارتين باستخدام أشكال ليساجو :-

في هذه الحالة يتم إدخال الإشارتين المراد قياس زاوية فرق الطور بينهما على المدخلين الأفقـي والعمودي . ويجب أن تكون كلا الإشارتين لهما نفس التردد ومتساويتين في الجهـد على الشاشة ، ويتم وضع المفاتيح في جهاز راسم الإشارة على وضع $(X\!-\!Y)$. ويـتم حسـاب زاوية فرق الطور بين الإشارتين من الشكل الظاهر على شاشة جهاز راسم الإشارة كما هو مبين في الشكل (٩-٣٢) :-

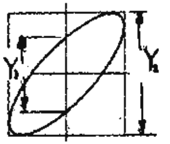


شكل (٩-٣٢)

من العلاقة :-

$$Sin\ \alpha = \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{X_1}{X_2}$$

أو كما هو مبين في الشكل (٩-٣٣) :-



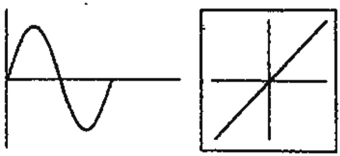
شكل (٩-٣٣)

من العلاقة :-

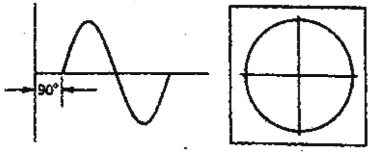
$$Sin\ \alpha = \frac{Y_1}{Y_2} \Rightarrow \alpha = Sin^{-1}\frac{Y_1}{Y_2}$$

حالات خاصة لقيم زوايا فرق الطور :-

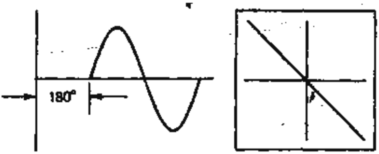
أ-الشكل التالي يظهر على شاشة راسم الإشارة عندما :- $\alpha = 0^\circ$



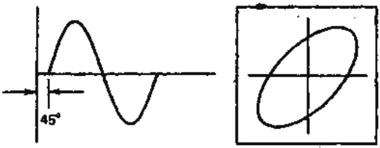
ب-الشكل التالي يظهر على شاشة راسم الإشارة عندما :- $\alpha = 90^\circ$



ج- الشكل التالي يظهر على شاشة راسم الإشارة عندما :- $\alpha = 180^\circ$

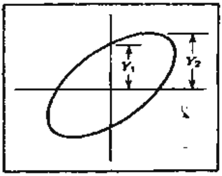


د-الشكل التالي يظهر على شاشة جهاز راسم الإشارة عندما :- $\alpha = 45^\circ$



مثال (٩-٢)

أوجــد زاويــة فرق الطور للإشارتين التاليتين إذا كان $Y_1 = 2\ cm$ و $Y_2 = 4\ cm$ وشكل ليساجو الظاهر لهما على شاشة جهاز راسم الإشارة معطى في الشكل التالي:-



الحل:-

$$Sin\ \alpha = \frac{2}{4} = 0.5 \Rightarrow \alpha = 30^\circ$$

أمثلة

٩-١-عدد أصناف أجهزة القياس تبعاً للاستخدام .

٩-٢-عدد أصناف أجهزة القياس حسب مبدأ العمل .

٩-٣-عرف أجهزة القياس البيانية .

٩-٤-عرف أجهزة القياس التكاملية .

٩-٥-اشرح مبدأ العمل لجهاز القياس ذي الملف المتحرك .

٩-٦- اشرح كيف تتم إطالة مدى القياس لجهاز قياس التيار ذي الملف المتحرك .

٩-٧- عرف حساسية جهاز القياس .

٩-٨- عرف جهاز الافوميتر (VOM) .

٩-٩- اشرح مبدأ عمل جهاز القياس ذي الحديدة المتحركة من نوع تنافري .

٩-١٠- عدد الأخطاء الناتجة عن استخدام أجهزة القياس .

٩-١١-اذكر مجالات استخدام أجهزة القياس الكهروديناميكية .

٩-١٢-اشرح مبدأ العمل لأجهزة القياس الحثية .

٩-١٣-اذكر مجالات استخدام أجهزة القياس بازدواج حراري .

٩-١٤-اشرح مبدأ العمل لأجهزة قياس التردد .

٩-١٥- اشرح جسر ويتستون واذكر مجال استخدامه .

٩-١٦- اشرح البوتنشيوميتر وبين كيف يتم استخدامه من اجل قياس جهد غير معلوم .

٩-١٧-عدد ميزات الأجهزة الرقمية .

٩-١٨- ارسم المخطط الصندوقي لجهاز القياس الرقمي مبيناً الأجزاء الرئيسية التي يتالف منها هذا الجهاز .

٩-١٩-اذكر أهم استخدامات جهاز راسم الإشارة .

٩-٢٠-عدد الأجزاء الرئيسية التي يتألف منها أنبوب الأشعة المهبطية .

٩-٢١- وضح مفهوم التزامن في جهاز راسم الإشارة .

٩-٢٢-عرف التخميد في جهاز راسم الإشارة .

٩-٢٣-ارسم المخطط الصندوقي لجهاز راسم الإشارة مبيناً علية الأجزاء الرئيسية التي يتألف منها هذا الجهاز .

٩-٢٤-اذكر أهم مجالات استخدام جهاز راسم الإشارة في الصيانة .

٩-٢٥- ما هي الغاية من وجود الزنبرك في أجهزة القياس ؟

٩-٢٦-ما المقصود بعزم الانحراف في أجهزة القياس ؟

٩-٢٧-احسب تردد الإشارة الداخلة إلى جهاز راسم الإشارة إذا علمت أن عدد السنتمترات التي تغطيها الإشارة من بدايتها إلى نهايتها يساوي (4) وأن مفتاح الزمن في الراسم موضوع على وضعية ($2\ ms/cm$) .

الوحدة العاشرة

مصادر القدرة الكهربائية

البطاريات والخلايا الكهربائية .

الخلايا الابتدائية .

الخلية البسيطة (خلية نحاس – زنك) .

خلية دانيال (خلية نحاس – زنك مطلي بالزئبق) .

خلية لكلانشي (خلية زنك – كربون) .

الخلية الجافة (خلية زنك – كربون) .

الخلايا الثانوية .

توصيل البطاريات على التوالي .

توصيل البطاريات على التوازي .

التوصيل المركب للبطاريات .

مصادر القدرة التي تستخدم الطاقة الشمسية .

مصادر تحويل القدرة .

مصدر تحويل من متناوب إلى مستمر .

مصدر تحويل من مستمر إلى متناوب .

مصدر تحويل من مستمر إلى مستمر .

مصدر تحويل من متناوب إلى متناوب .

مصادر التغذية التي تحول التيار المستمر من بطارية مشحونة إلى تيار متناوب .

الوحدة العاشرة

مصادر القدرة الكهربائية

١-البطاريات والخلايا الكهربائية(Batteries and Cells):-

توليد القوة الدافعة الكهربائية بالتأثير الكيميائي :-

بهذه الطريقة يتم غمس قطبين من معدنين مختلفين في سائل ، ويتم وصل هذين القطبين خارجيا بواسطة أسلاك توصيل ، والأثر الكيميائي يتم داخل السائل . وبالتالي فانه تتولد قوة دافعة كهربائية بين القطبين والتي بدورها تؤدي إلى مرور تيار كهربائي خلال دائرة التوصيل الخارجية .هذا الجهاز يسمى الخلية الكهربائية ، ودمج خليتين أو أكثر يكوّن ما يسمى بالبطارية . القطب الذي يتم من خلاله مرور التيار خارج الخلية يدعى بالقطب الموجب والقطب الذي من خلاله يدخل التيار إلى الخلية يدعى بالقطب السالب .

إذا كان القطبان من نفس المعدن مثل الزنك أو النحاس فانه في هذه الحالة لا تتولد قوة دافعة كهربائية . وقيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة من وجود قطبين مختلفين تعتمد على نوعية العناصر المستخدمة.

تصنيف الخلايا :- تصنف الخلايا إلى نوعين رئيسيين :-

١-الخلايا الابتدائية (Primary Cells):-

وهي الخلايا التي تتألف من عناصر كيميائية أساسية لتوليد القوة الدافعة الكهربائية ويتم تبديل هذه العناصر الأساسية بعد انتهاء صلاحيتها .

وتقسم إلى الأقسام التالية :-

أ-الخلية البسيطة (خلية نحاس-زنك) وتحتوي على سائل وحيد .

ب-خلية دانيال (خلية نحاس -زنك مطلي بالزئبق) وتحتوي على سائلين .

ج- خلية لكلانشي (خلية زنك -كربون) تحتوي على سائلين .

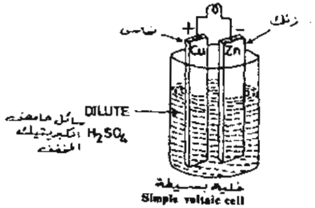
د-الخلية الجافة(خلية زنك -كربون) تحتوي على سائل بشكل عجينة .

٢-الخلايا الثانوية (Secondary Cells): -

وهي الخلايا التي يتم شحنها في البداية عن طريق مصدر شحن خارجي بحيث يتم تخزين الطاقة الكهربائية داخل الخلية على شكل طاقة كيمائية والتي تعطي في وقت لاحق تياراً كهربائياً باتجاه معاكس لتيار الشحن ، أي أن الطاقة الكيميائية تخزن وتحول إلى طاقـــة كهربائية . وعندما يتم تفريغ شحنة الخلية نتيجة الاستخدام يتم شحنها مرة أخرى .

أ-الخلية البسيطة (خلية نحاس-زنك) (Copper-Zinc Cell):-

تتألف هذه الخلية من وعاء زجاجي يحتوي على قطب من النحاس وقطب من الـــزنك مغموسة في سائل مخفف من حامض الكبريتيك ($H_2SO_4 + H_2O$) كما هو مبين في الشكل (١٠-١) .



شكل (١٠-١)

خـــام الـــزنك أو الخارصين يمثل القطب السالب بينما النحاس يمثل القطب الموجب ، وعند وصل جهاز قياس جهد بين القطبين فانه يقيس القوة الدافعة الكهربائية للخلية .

إذا تم وصل القطبين بواسطة أسلاك توصيل على التوالي مع مقاومة مادية وجهاز قياس تيار ، فإن الأثر الكيميائي يبدأ بالتأثير على قطب الزنك أولا لأنه انشط من النحاس في التفاعل مع حامض الكبريتيك ، ويبدأ التيار بالمرور خلال السائل . يتحلل حامض الكبريتيك إلى هيدروجين (H^+) وكبريتات (SO_4^-) . عنصر الهيدروجين يتحرك في اتجاه سريان التيار ويتجمع على سطح قطب النحاس على شكل فقاعات ، بينما الكبريتات تتحرك إلى عنصر الزنك وتشكل كبريتات الزنك ($ZnSO_4$) ويمكن تمثيل التفاعل الكيميائي بالمعادلة التالية :

$$Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$$

يسري التيار من الزنك إلى النحاس داخل الخلية ومن النحاس إلى الزنك خارج الخلية وبالتالي فان قطبي النحاس والزنك يصبحان بقطبية موجبة وسالبة بالتناوب . والقوة الدافعة الناتجة عن الخلية هي بحدود $1.1\,V$.

ولهذه الخلية اثران سيئان هما :-

١-الاستقطاب (Polarization) :-عندما ينتج التيار في الخلية فان غاز الهيدروجين يظهر على شكل فقاعات على قطب النحاس .وبالتالي فان طبقة رقيقة من الهيدروجين تتكون على شكل مقاومة مما يؤدي إلى زيادة المقاومة الداخلية للخلية وبالتالي إلى تقليل القوة الدافعة الكهربائية الأساسية .

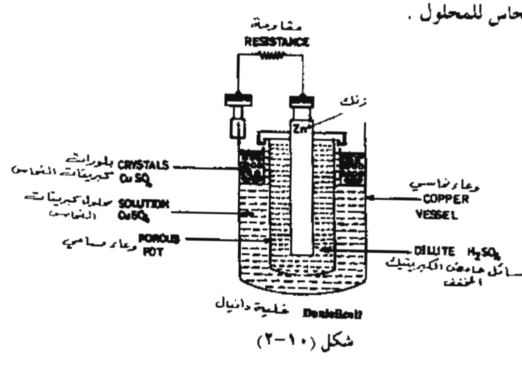
ويمكن التقليل من هذا الأثر عن طريق تنظيف قطب النحاس . ويمكن تقليل هذا الأثر بإضافة عنصر الأكسجين حيث يتفاعل مع الهيدروجين لإنتاج الماء وهو ما يدعى إزالة الاستقطاب (Depolarization) .

٢-الأثر الداخلي (Local Action) :-وهو نتيجة احتواء الزنك على عدد من العناصر الأخرى مثل النحاس والقصدير .

فعندما يحدث التأثير الكيميائي نتيجة استخدام الزنك فانه يتولد خلايا صغيرة نتيجة العناصر المختلطة مع معدن الزنك وبالتالي تنشأ تيارات دورانية على قطب الزنك داخل الخلية مما يؤدي إلى انخفاض القوة الدافعة الكهربائية ، وللتخلص من هذا الأثر فانه يتم طلاء الزنك بمعدن الزئبق .

ب- خلية دانيال (**Daniel Cell**):-

وهي خلية تتألف من سائلين وهي عبارة عن نوع محسن للخلية البسيطة ، حيث تم التخلص فيها من اثر الاستقطاب واستخدم فيها الزنك المطلي بالزئبق من اجل التخلص من الأثر الداخلي . تتألف هذه الخلية كما هو مبين في الشكل (١٠-٢) من وعاء نحاسي خارجي يمثل القطب الموجب ويحتوي على محلول كبريتات النحاس ($CuSO_4$) التي تعمل على التخلص من الاستقطاب ، وداخل هذا الوعاء يوجد وعاء مسامي آخر يحتوي على حامض الكبريتيك (H_2SO_4) وقضيب من الزنك المطلي يمثل القطب السالب للخلية ، محلول كبريتات النحاس يبقى مركزا بإضافة بلورات من كبريتات النحاس للمحلول .



شكل (١٠-٢)

عندما يتم وصل أطراف الخلية لتكوين دائرة مغلقة فان قطب الزنك في الوعاء المسامي يبدأ بالتحلل في حامض الكبريتيك (H_2SO_4) وبالتالي يتكون الهيدروجين الذي يمر من خلال الوعاء المسامي ليدخل إلى محلول كبريتات النحاس ($CuSO_4$) ليشكل (H_2SO_4) وعنصر النحاس (Cu^{++}) الذي يترسب على وعاء النحاس.

يمكن تمثيل التفاعل الكيميائي داخل الوعاء المسامي بالمعادلة التالية :

$$Zn^{++} + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + 2H^{+} \uparrow$$

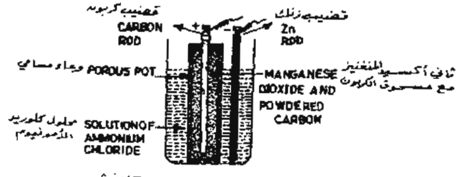
والتفاعل خارج الوعاء المسامي يمثل بالمعادلة التالية :-

$$2H^{+} + CuSO_4 \rightarrow H_2SO_4 + Cu^{++}$$

وبهذه الطريقة يتم منع حدوث الاستقطاب . القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من هذا النوع من الخلايا بحدود $1.12\,V$ ومقاومتها الداخلية تتراوح بين $(2-6)\ \Omega$ وهي رخيصة الثمن وتعطي جهداً ثابتاً لذلك يتم استخدامها بشكل واسع في المختبرات .

ج-خلية ليكلانشي (*Leclanche' Cell*) :-

تتألف هذه الخلية كما هو مبين في الشكل (١٠-٣) من وعاء زجاجي يحتوي على محلول كلوريد الأمونيوم (NH_4Cl) وقضيب من الزنك المطلي بالزئبق ويحتوي أيضا على وعاء مسامي يحتوي على قضيب من الكربون ، الوعاء أيضا مثبت عليه أكسيد المنغنيز وذرات الكربون . قضيب الزنك يمثل القطب السالب وقضيب الكربون يمثل القطب الموجب. والسائل هو عبارة عن كلوريد الأمونيوم وأكسيد المنغنيز الذي يمثل مانع الاستقطاب ، وتعمل ذرات الكربون مع أكسيد المنغنيز كموصل . في أعلى الوعاء المسامي يتم فتح ثقب صغير من اجل السماح للغاز الناتج عن التفاعل الكيميائي بالتسرب إلى الخارج . وعندما تعمل الخلية يتفاعل كلوريد الأمونيوم مع الزنك مشكلا كلوريد الزنك ومحررا غاز الامونيا وغاز الهيدروجين .



خلية ليكلانشيه Leclanché cell

شكل (١٠-٣)

يمكن تمثيل التفاعل الكيميائي بالمعادلة التالية :-

$$Zn^{++} + 2NH_4Cl \rightarrow ZnCl_2 + 2NH_3 + 2H^+$$

يـتم تذويب غاز الامونيا بواسطة الماء وعندما يصبح الماء مشبعاً بغاز الامونيا ، ويمكن تميـيز ذلـك بواسـطة الرائحة ، يتفاعل غاز الهيدروجين الذي يمر من خلال الوعاء المسـامي مع ثاني أكسيد المنغنيز (MnO_2) ويتحول إلى ماء بعد أخذه للأكسجين من اكسيد المنغنيز . ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة :-

$$2MnO_2 + H_2 \rightarrow Mn_2O_3 + H_2O$$

في هـذه الخلية يتم التخلص من الاستقطاب ولكن ليس بصورة كاملة لان الهيدروجين يـتكاثف بنسبة أسرع من حدوث عملية التخلص من الاستقطاب . ولذلك فان جزءاً مـن الهيدروجين يتجمع حول قضيب الكربون ، وبإعطاء الخلية قليلاً من الراحة فانه يمكن التخلص من الاستقطاب وتعود الخلية للعمل في الوضع الطبيعي .

القوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن هذه الخلية هي $1.45\,V$ ومقاومتها الداخلية تتراوح بين Ω $(1-5)$ وتعتمد على حجم الخلية .

مميزات هذه الخلية:–

١– رخيصة الثمن حيث يتم تغيير كلوريد الأمونيوم فقط .

٢– تستخدم محلولاً واحداً .

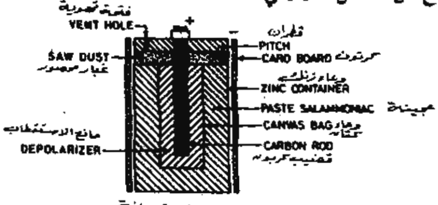
مساوئ هذه الخلية :–

١– غير قابلة للحمل .

٢– لا يمكن استخدامها لفترات عمل مستمرة طويلة .

د–الخلية الجافة (Dry Cell):–

تتألف هذه الخلية كما هو مبين في الشكل (١٠–٤) من وعاء من الزنك يؤلف القطب السالب للخلية ، والقطب الموجب عبارة عن قضيب من الكربون موضوع في منتصف وعاء الزنك ، يحاط قضيب الكربون بمزيج من أكسيد المنغنيز والكربون المحصور ضمن وعاء مسامي ، المساحة المحيطة بالوعاء المسامي معبأة بعجينة تمثل السائل للخلية ، ويضاف كلوريد الزنك للعجينة حيث أن له قدرة على امتصاص الغبار من الجو المحيط وبالتالي يحافظ على رطوبة العجينة ، والجزء العلوي من الخلية يحتوي على غبار ناعم محصور ضمن حيز محدد يحتوي على ثقب صغير يسمح بمرور الغاز الناتج عن التفاعل الكيميائي .



شكل (١٠–٤)

التفاعل الكيميائي الناتج في هذا النوع من الخلايا هو نفسه التفاعل الكيميائي لخلية ليكلانشي .

القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من هذه الخلية هي بحدود $1.5V$ ومقاومتها الداخلية تتراوح بين ($0.1 - 0.5\,\Omega$) .

ميزات هذه الخلية :-

١-يمكن حملها بسهولة .

٢-السائل في هذه الخلية عبارة عن معجونة .

وتستخدم هذه الخلية في أجهزة الراديو والمصابيح اليدوية والأجراس الكهربائية وأجهزة التلغراف .

ميزات الخلايا الجيدة :-

١-قوة دافعة كهربائية مرتفعة .

٢-مقاومة داخلية صغيرة .

٣-لها قابلية إعطاء تيار ثابت لفترة زمنية طويلة .

٤-لا تمرر أي تيار في حالة عدم التوصيل .

٥-خالية من ظاهرة الاستقطاب .

٦-خالية من أي ترسبات كيميائية نتيجة التفاعل الكيميائي .

٧-رخيصة الثمن .

طرق المحافظة على الخلايا الابتدائية :-

١- يجب أن تحفظ عناصر الخلية وأطراف التوصيل باستمرار نظيفة للتخلص من التآكل وللمحافظة على قيمة قليلة للمقاومة الداخلية .

٢-صفيحة الزنك يجب طلاؤها بالزئبق للتخلص من التأثير الداخلي .

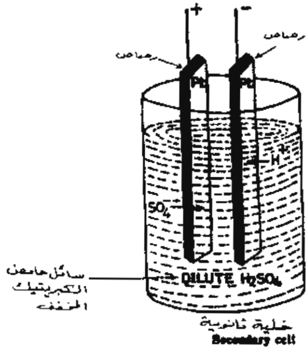
٣–قوة الاستقطاب يجب أن تكون اقل ما يمكن .

٤–الوعاء المسامي يجب إبقاؤه نظيفا وخارج الخلية في حالة عدم الاستخدام .

٥–عدم وجود تماس بين القطب السالب والقطب الموجب للخلية داخل السائل ويجب أن لا تقل المسافة بينهما عن 15 mm.

٢–الخلايا الثانوية :– تركيبها ومبدأ عملها :–

تتألف هذه الخلايا كما هو مبين في الشكل (١٠–٥) من صفيحتين من الرصاص مغمومتين في سائل مخفف من حامض الكبريتيك .عند وصل الصفيحتين إلى مصدر تيار مباشر فانه يمر تيار مباشر بين الصفيحتين من خلال السائل بحيث يعمل هذا التيار على تحليل حامض الكبريتيك إلى هيدروجين وكبريتات ، ينتقل أيون الهيدروجين ذو الشحنة الموجبة إلى الصفيحة السالبة ويعمل على معادلة شحنتها وبالتالي فان الصفيحة السالبة تبقى رصاصاً ليناً نقياً (Pure spongy lead) ذا لون رمادي.



شكل (١٠–٥)

يتحرك أيون الكبريتات ذو الشحنة السالبة نحو الصفيحة الموجبة ويعطيها شحنته ويتفاعل مع الماء في السائل.

ويمكن كتابة معادلة التفاعل بالشكل :-

$$SO_4^{--} + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + O^{--}$$

الأكسجين الناتج يتحد مع الوصلة الموجبة من الرصاص ويحولها إلى أكسيد الرصاص كما في المعادلة:-

$$O_2 + Pb \rightarrow PbO_2$$

وتكون هذه الصفيحة ذات لون بني داكن (مؤكسد).

وعند وصل هذه الخلية مع أطراف خارجية بعد أن تكون عملية الشحن قد تمت فإننا نحصل على تفريغ للشحنة الكهربائية المخزنة نتيجة التفاعل الكيميائي . وبالتالي فان هذا النوع من الخلايا يتم فيه تحويل الطاقة الكهربائية إلى كيميائية أثناء عملية الشحن ويتم فيه تحويل الطاقة الكيميائية إلى كهربائية أثناء عملية التفريغ . وتقسم هذه الخلايا إلى نوعين رئيسين :-

١-خلايا حامض الرصاص (**Lead acid cells**) .

٢-خلايا سبكة نيكل – حديد القلوية (**Nickel-Iron alkaline cells**) .

مقارنة بين الخلايا الثانوية والخلايا الابتدائية :-

١- الخلايا الثانوية تعطي تياراً أقوى من الخلايا الابتدائية لأن مقاومتها الداخلية اقل .

٢- الخلايا الثانوية تعطي تياراً ثابتاً .

٣- فعالية الخلايا الثانوية مرتفعة حيث أنها تعطي الطاقة الناتجة عن الشحن بشكل كامل.

مواصفات الخلايا الثانوية الجيدة :-

١- مقاومة داخلية قليلة .

٢- فعالية عالية .

٣- توليد قوة دافعة كهربائية ثابتة .

٤- متينة .

٥- رخيصة الثمن .

٦- صلابة ميكانيكية عالية .

٧- قدرتها عالية .

التمييز بين القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الخلية (EMF) وبين فرق الجهد على طرفي الخلية (**Potential Difference**) :-

تعرف القوة الدافعة الكهربائية لخلية ما بأنها القوة التي تجبر التيار على المرور في الخلية ، وهي عبارة عن فرق الجهد بين طرفي التوصيل في الخلية في حالة الدائرة المفتوحة أي عندما يكون التيار المار مساوياً الصفر .

فإذا تم وصل جهاز قياس جهد بين طرفي التوصيل لخلية لا تمرر تياراً إلى الحمل الخارجي فان جهاز القياس في هذه الحالة يقرأ قيمة القوة الدافعة الكهربائية .

أما فرق الجهد فهو الفرق في الجهد الكهربائي بين نقطتي التوصيل في الخلية ، فإذا كانت الخلية تمرر تيارا إلى الحمل الخارجي وتم وصل جهاز قياس الجهد بين طرفي التوصيل فان جهاز القياس في هذه الحالة يقرأ قيمة فرق الجهد .

إن فرق الجهد هو دائما اقل من القوة الدافعة الكهربائية نتيجة لهبوط الجهد على المقاومة الداخلية للخلية ، وتعرف المقاومة الداخلية للخلية بأنها المقاومة الناتجة عن القطب الموجب والقطب السالب والمحلول في الخلية .

وبالتالي فانه يمكن كتابة العلاقات التالية لفرق الجهد والقوة الدافعة الكهربائية :-

$$EMF = V_T + I.r$$

حيث أن :- I – تيار الخلية ويقاس بالأمبير .

r – المقاومة الداخلية للخلية وتقاس بالاوم .

V_T – هبوط الجهد على الحمل الخارجي ويقاس بالفولت .

الخلايا والبطاريات :-

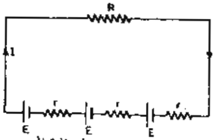
البطارية عبارة عن مجموعة مكونة من خليتين أو اكثر موصولة مع بعضها إما على التوالي أو على التوازي أو على شكل خليط من التوالي والتوازي (توصيل مركب) .

طرق توصيل البطاريات :-

١-توصيل البطاريات على التوالي :-

تستخدم للحصول على جهد أعلى من جهد الخلية الواحدة.

يتم بهذه الطريقة وصل الطرف الموجب للخلية الأولى بالطرف السالب للخلية الثانية ... وهكذا ، كما هو مبين في الشكل (١٠-٦) .



خلايا متصلة على التوالي

Cells in series

شكل (١٠-٦)

فإذا كان عدد الخلايا هو n وكل منها لها قوة دافعة كهربائية E ومقاومة داخلية r ، وموصولة مع حمل مقاومته R بالتالي يكون :

المقاومة الداخلية للبطارية تساوي : Battery Resistance = $n.r \quad (\Omega)$

المقاومة الكلية للدائرة تساوي : $\text{Total Resistance} = R + n.r \quad (\Omega)$

القوة الدافعة الكهربائية الكلية للدائرة تساوي : $\text{Total EMF} = n.E \quad (V)$

تيار الحمل للدائرة (Load Current) يساوي :

$$I = \frac{n.E}{R + n.r} \quad (A)$$

مثال(١٠-١)

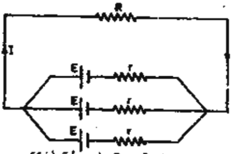
عشرون خلية جافة بقوة دافعة كهربائية $1.5\,V$ ومقاومة داخلية $0.5\,\Omega$ لكل منها وصلت على التوالي مع حمل مقاومته المادية $5\,\Omega$ أوجد التيار المار في مقاومة الحمل للمجموعة .

الحل :-

$$I = \frac{n.E}{R + n.r} = \frac{20 \times 1.5}{5 + (20 \times 0.5)} = \frac{30}{15} = 2(A)$$

٢-طريقة التوصيل على التوازي :-

تستخدم من اجل الحصول على تيار خرج أعلى من التيار الناتج عن كل خلية لوحدهـا . في هذه الحالة يتم توصيل جميع الأطراف الموجبة للخلايا مع بعضها البعض بوصلة واحدة , والأطراف السالبة جميعها مع بعضها البعض بوصلة واحدة كما هو مبين في الشكل (١٠-٧).



خلايا متصلة على التوازي
Cells in parallel

شكل (١٠-٧)

فــإذا كـــان n عدد الخلايا ولكل منها قوة دافعة كهربائية E ومقاومة داخلية r وموصولة مع حمل مقاومته R فان :-

المقاومة الداخلية للبطارية تساوي :

$$\text{Internal Resistance of the Battery} = \frac{r}{n} \quad (\Omega)$$

المقاومة الكلية للدائرة تساوي : $\text{Total Resistance} = R_T = R + \frac{r}{n} \; (\Omega)$

القوة الدافعة الكهربائية للبطارية تساوي : $\text{Battery EMF} = E \quad (V)$

تيار الحمل للدائرة (Load Current) يساوي :

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{n.E}{n.R + r} \quad (A)$$

مثال (١٠-٢)

عشـــر خلايـــا جافة لكل منها قوة دافعة كهربائية 1.5 V ومقاومة داخلية 1 Ω وصـــلت بشكل مجموعة على التوازي مع مقاومة حمل مقدارها 4.5 Ω أوجد قيمة التيار المار في الحمل .

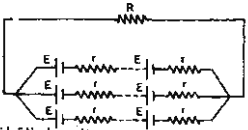
الحل :

$$I = \frac{n.E}{n.R + r} = \frac{10 \times 1.5}{10 \times 4.5 + 1} = 0.326 \quad (A)$$

٣-طريقة التوصيل المركب (توصيل توالٍ تواز) :-

يتم ذلك بتوصيل مجموعات بعدد معين على التوالي مع مجموعات بنفس العدد على التوازي كما هو مبين في الشكل (١٠-٨) .

وفي هـــذه الحالة فان القوة الدافعة الكهربائية المحصلة تساوي القوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن أحد فروع التوالي .



شكل (١٠-٨)

فــإذا كان عدد الخلايا الموصولة على التوالي يساوي n ، وعدد المجموعات الموصولة على التوازي يساوي m ، والمجموعة كاملة موصولة مع حمل مقاومته R فان :-

المقاومة الداخلية لكل فرع من فروع التوالي تساوي : $n.r \quad (\Omega)$

والمقاومة الداخلية لمجموع الفروع تساوي : $\frac{n.r}{m} \quad (\Omega)$

والمقاومة المكافئة الكلية للبطارية تساوي :

$$R_T = R + \frac{n.r}{m} = \frac{m.R + n.r}{m} \quad (\Omega)$$

والقوة الدافعة الكهربائية الكلية للدائرة تساوي : $n.E \quad (V)$

تيار الحمل الكلي للدائرة يساوي :-

$$I = \frac{n.E}{R + \frac{n.r}{m}} = \frac{m.n.E}{m.R + n.r} \quad (A)$$

التيار المار في الحمل لهذه التوصيلة يكون بقيمته العظمى عندما تكون المقاومة الداخلية الكلية للبطارية تساوي مقاومة الحمل .

مثال(١٠-٣)

ثلاثـــون خلية جافة لكلٍ منها قوة دافعة كهربائية 1.5 V ومقاومة داخلية $0.5\ \Omega$ ، وصـــل كل عشر خلايا منها على التوالي لتشكل ثلاثة فروع موصولة على التوازي . فإذا وصلت هذه المجموعة مع حمل مقاومته $2.5\ \Omega$ أوجد قيمة تيار الحمل .

الحل :-

$$I = \frac{m.n.E}{m.R + n.r} = \frac{3 \times 10 \times 1.5}{3 \times 2.5 + 10 \times 0.5} = \frac{45}{7.5 + 5} = \frac{45}{12.5} = 3.6 \quad (A)$$

٢- مصادر القدرة التي تستخدم الطاقة الشمسية (**The Solar Cell**):-

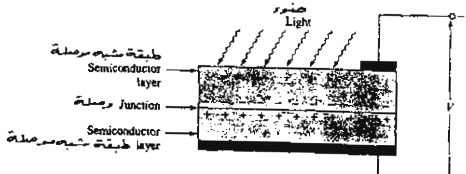
إن الشمس تشع باستمرار كمية من الضوء والطاقة الحرارية إلى الأرض . هنالك كميات كبيرة من مصادر الطاقة المخزنة في الأرض مثل الفحم والزيت والغاز الطبيعي والتي تستخدم كوقود في محطات توليد القدرة الكهربائية.

حيث يتم حرق الوقود لتوليد الطاقة الحرارية . وتتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية التي بدورها تتحول إلى طاقة كهربائية .

منذ زمن بعيد حاول العلماء والباحثون إيجاد الطرق المناسبة لتحويل ضوء وحرارة الشمس إلى طاقة كهربائية بشكل مباشر .ولكن حتى هذا التاريخ لم يتم تحقيق هذا الهدف بنجاح كبير حيث تم تحويل كميات قليلة من الطاقة المتوفرة .

الخلية الشمسية هي عبارة عن جهاز يحول الطاقة الضوئية مباشرة إلى طاقة كهربائية .

الشكل (١٠-٩) يبين تركيب الخلية الشمسية :-



شكل (١٠-٩)

تـتألف الخلية الشمسية من وعاء (Wafer) يحتوي حبيبات من السيليكون النقي شبه الموصل مخلوطة مع كمية قليلة من الزرنيخ ، ويتم هذا الخلط من اجل إيجاد إلكترونات ذات شحنة سالبة حرة الحركة ،وهذا الوعاء مغطى بطبقة سميكة من السيليكون شبه الموصل المخلوط مع كمية قليلة من البورون (عنصر لافلزي) وهذه الطبقة تحتوي على كمية من الفجوات (holes) موجبة الشحنة .

بعض الشحنات السالبة الموجودة في الوعاء تتجه نحو الشحنات الموجبة الموجودة في الطبقة العليا .وبعض الشحنات الموجبة الموجودة في الطبقة العليا تتجه نحو الشحنات السالبة الموجودة في الوعاء .في الوصلة بين الشحنتين يتم إنتاج حاملات الشحنة التي تمنع نزوح الإلكترونات والفجوات والاتصال مع بعضها البعض .

في حسال تعرض هذه الخلية إلى أشعة الشمس فان السيليكون سوف يمتص جزءاً من الطاقة الضوئية ، وهذه الطاقة تقوم بكسر الرباط بين حاملات الشحنة محررة كمية من الشحنة الكهربائية للإلكترونات والفجوات بواسطة الوصلة معطية شحنة سالبة إلى الوعاء وشحنة موجبة إلى الطبقة ، وبالتالي يتولد فرق جهد بين الطبقة والوعاء .

وبأخذ نقط توصيل على كل من الوعاء والطبقة ووصلها بدائرة خارجية فان ذلك سوف يؤدي إلى سريان تيار كهربائي خلال أي حمل يمكن أن يوصل بين هذين الطرفين.

جهد الخرج للخلية يعتمد على مساحة المنطقة المعرضة للشمس وتركيز الإشعاع الشمسي المسلط على الخلية .

وحجم الخلية الشمسية لا يمكن أن يكون كبيرا إلى حد كبير ، وكمثال فان خلية شمسية بمساحة $2\ m^2$ يمكن أن تنتج جهداً مقداره $0.45\ V$ بتيار $50\ mA$ أي بقدرة بحدود $0.0225\ Watt$. ومن اجل الحصول على قدرة اكبر يتم وصل عدد من الخلايا الشمسية مع بعضها على التوالي أو على التوازي ، فللحصول على جهود أكبر يوصل عدد من الخلايا الشمسية على التوالي .

ومـــن اجل الحصول على تيارات أعلى يتم وصل عدد من الخلايا مع بعضها على التوازي ، كما يمكن أن يتم الوصل بشكل مختلط من اجل الحصول على تيارات وجهود أعلى .

مميزات الخلايا الشمسية :-

١- بسيطة التركيب .
٢- خفيفة الوزن .
٣- مستقرة .
٤- صلبة يمكن أن تتحمل درجات حرارة ورطوبة أعلى من المعدل .
٤- عمرها طويل.

استخدامات الخلايا الشمسية :-

١- تستخدم في المحطات الفضائية لتزويد الأجهزة المختلفة بالطاقة الكهربائية اللازمة .
٢-تستخدم لشحن البطاريات من الأنواع الأخرى مثل (**Nickel-Cadmium**) .
٣-تستخدم في محطات الرادار وفي إنارة المنازل وفي المقاسم الإلكترونية .

ويمكـــن للخلايا الشمسية الحصول على الضوء من مصادر أخرى غير مصدر الطاقة الشمسية مثل مصادر الإنارة .

٣-مصادر تحويل القدرة :-

تصنف مصادر تحويل القدرة بين التيار المباشر والتيار المتناوب إلى الأصناف الرئيسية التالية :-

١-مصدر تحويل من متناوب إلى مستمر ($ac \rightarrow dc$).
٢-مصدر تحويل من مستمر إلى متناوب ($dc \rightarrow ac$).

٣-مصدر تحويل من مستمر إلى مستمر ($dc \rightarrow dc$) .

٤-مصدر تحويل من متناوب إلى متناوب ($ac \rightarrow ac$) .

١- مصدر تحويل من متناوب إلى مستمر ($ac \rightarrow dc$) :-

المخطـــط الصندوقي المبين في الشكل (١٠-١٠) يبين الأجزاء الرئيسـية لمصدر تحويل من متناوب إلى مستمر :-



شكل (١٠-١٠)

وكمــا هــو مبين في المخطط الصندوقي فان هذا المصدر يتألف من الأجزاء الرئيسية التالية :-

١-محـــول (Transformer) :-يمكـــن أن يكـــون رافعاً أو خافضاً للجهد من اجل الحصـــول على جهد *dc* معين في نهاية المطاف ، وتعويض الفقد في الجهد نتيجة هبوط الجهد في كل من دائرة التقويم والمرشح ومنظم الجهد .

٢-مقـــوم (Rectifier) :-يقـــوم بتحويل الجهد المتناوب ذي الموجة الجيبية إلى جهد مستمر على شكل موجة نبضة مستمرة .

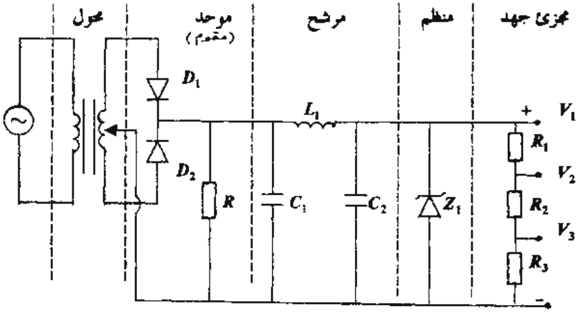
٣-المرشـــح (Filter) :-يقـــوم بتصـــفية الموجة المقومة وتنقيتها من توافقيات التيار المتـــناوب ،ليعطي بعد ذلك خرجا خاليا تقريبا من النبضات والتموجات ويكون قريبا جدا من شكل التيار أو الجهد الذي يؤخذ من بطارية .

٤-المـــنظم (Regulator) :-يقـــوم بالمحافظة على جهد ثابت للمخرج بمقارنة جهد الدخل مع جهد الحمل .

٥-مجـــزئ الجهـــد :-ويستخدم في بعض الأحيان مجزئ جهد على المخرج من اجل الحصول على قيم مختلفة لجهد الخرج .

ويمكـــن تجـــزئة الجهد عن طريق استخدام مجموعة مقاومات موصولة على التوالي مع المصـــدر ، ويتم اخذ الجهد المناسب من إحدى هذه المقاومات أو من مجموعة من هذه المقاومات .

والشكل (١٠-١١) يبين مصدر تحويل قدرة من متناوب إلى مستمر مزوداً بمجزئ للجهد :-



شكل (١٠-١١)

وتـــتكون دائـــرة مجزئ الجهد من مقاومات موصولة على التوالي ويكون الجهد على المقاومـــة الواحـــدة هو جزء من الجهد الكلي V_T. ويكون كل من الجهود على كل مقاومة مساوياً :-

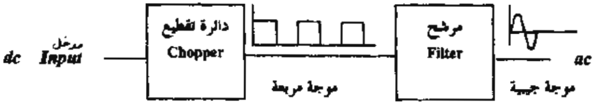
$$V_3 = \frac{R_3 . V_T}{R_1 + R_2 + R_3} \quad و \quad V_2 = \frac{(R_2 + R_3) . V_T}{R_1 + R_2 + R_3} \quad و \quad V_1 = V_T$$

فنحصل بذلك على جهود مختلفة من مزود قدرة واحد .

٢-مصـــدر تحويل من مستمر إلى متناوب ($dc \rightarrow ac$) :- ويدعى مصدر التغذية هذا العاكس (**Inverter**) .

وهي عبارة عن دوائر كهربائية تحول الجهد المستمر إلى جهد متناوب .

والشكل (١٠-١٢) يبين المخطط الصندوقي لمصدر التغذية للتحويل من مستمر إلى متناوب :-



شكل (١٠-١٢)

ويحتوي هذا المصدر على دائرة تقطيع (Chopper) تقوم بتحويل التيار المستمر إلى موجة مربعة ثابتة التردد ويتم تحويل هذه الموجة المربعة إلى موجة جيبية باستخدام مرشح .

٣- مصدر تحويل من مستمر إلى مستمر dc → dc :-

التيار المستمر هو التيار الذي يبقى ثابتا بالمقدار والاتجاه ولا يتغير مع الزمن ، ويمكن الحصول على مصدر تيار مستمر من مولد كهربائي للتيار المستمر أو بطارية جافة أو بطارية سائلة ، ويمكن استخدام مجزئ الجهد للحصول على الجهد المطلوب .

ويمكن تحويل مصدر قدرة من قيمة dc إلى قيمة dc أخرى باستخدام العاكس والمقوم كما هو مبين في المخطط الصندوقي الموضح في الشكل (١٠-١٣) .



شكل (١٠-١٣)

ويتألف هذا المصدر كما هو مبين في المخطط الصندوقي من الأجزاء الرئيسية التالية :-

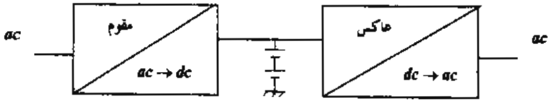
أ- العاكس :- يقوم بتحويل جهد *dc* إلى موجة *ac* متغيرة مع الزمن .

ب- المحول :- يقوم برفع الجهد أو خفضه للحصول على الجهد المطلوب .

ج- المقوم :- يقوم بتحويل الجهد المتاوب إلى مستمر مرة أخرى .

٤- مصدر تحويل من متناوب إلى متناوب $ac \rightarrow ac$:-

يتألف هذا المصدر من مقوم يقوم بتحويل الجهد المتاوب إلى مستمر ومن ثم يتم رفع أو خفض الجهد المقوم ، وبعد ذلك يتم استخدام العاكس لتحويل الجهد المستمر إلى جهد متناوب . والمخطط الصندوقي لهذا المصدر مبين في الشكل (١٠-١٤) .

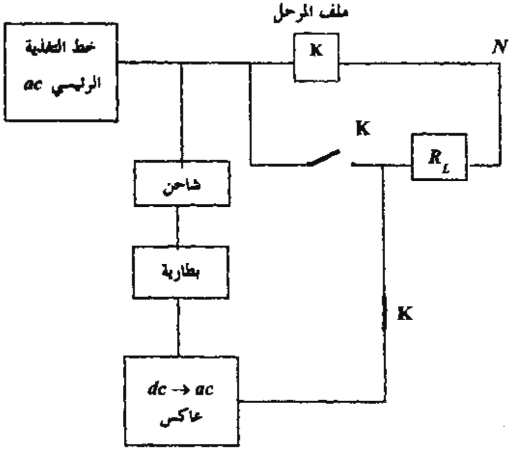


شكل (١٠-١٤)

٥- مصادر التغذية التي تحول التيار المستمر من بطارية مشحونة إلى تيار متناوب (U.P.S.) :-

ويستخدم هذا المصدر من اجل تأمين القدرة الكهربائية إلى الحمل عند انقطاع التيار في مصدر التغذية الرئيسي .

والشكل (١٠-١٥) يبين المخطط الصندوقي لهذا المصدر :-



شكل (١٠-١٥)

ويتم بواسطة هذا المصدر تحويل التيار الكهربائي المتناوب إلى تيار مباشر يخزن في البطارية باستخدام الشاحن وعند انقطاع التيار الكهربائي نتيجة عطل ما فانه يتم تحويل التيار المخزن في البطارية إلى تيار متناوب يغذي الحمل لفترة زمنية معينة .

أسئلة

١٠-١- اشرح عملية توليد القوة الدافعة الكهربائية بالتأثير الكيميائي .

١٠-٢- اذكر معايير تصنيف الخلايا .

١٠-٣- عرف الخلايا الابتدائية .

١٠-٤- ما هو مفهوم الاستقطاب في الخلايا ؟ وبين كيف يتم التخلص منه .

١٠-٥- ما هو مفهوم الاثر الداخلي في الخلايا ؟ وبين كيف يتم التخلص منه .

١٠-٦- عدد مزايا الخلايا الجيدة .

١٠-٧- اذكر الإجراءات الواجب اتخاذها من اجل المحافظة على الخلايا الابتدائية .

١٠-٨- اذكر الفروق بين الخلايا الابتدائية والخلايا الثانوية .

١٠-٩- اشرح الفرق بين القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الخلية وفرق الجهد على طرفي الخلية .

١٠-١٠- اذكر الهدف الأساسي من توصيل مجموعة من الخلايا مع بعضها على التوالي .

١٠-١١- اذكر الهدف الأساسي من توصيل مجموعة من الخلايا مع بعضها على التوازي .

١٠-١٢- عشر خلايا جافة بقوة دافعة كهربائية $1.5\,V$ ومقاومة داخلية $0.25\,\Omega$ لكل منها وصلت على التوالي مع حمل مقاومته المادية $10\,\Omega$

أوجد التيار المار في مقاومة الحمل للمجموعة .

١٠-١٣- عشر خلايا جافة بقوة دافعة كهربائية $1.5\,V$ ومقاومة داخلية $0.3\,\Omega$ لكل منها وصلت على التوازي مع حمل مقاومته المادية $3\,\Omega$

أوجد التيار المار في مقاومة الحمل للمجموعة .

١٠-١٤-ثلاثـون خلية جافة لكلٍ منها قوة دافعة كهربائية $1.5\,V$ ومقاومة داخلية $0.25\,\Omega$ وصـلت كـل خمس خلايا منها على التوالي لتشكل أربعة فروع موصولة عـلى الـتوازي ، فإذا وصلت هذه المجموعة مع حمل مقاومته $5\,\Omega$ أوجد قيمة تيار الحمل .

١٠-١٥-اشرح مبدأ عمل الخلية الشمسية .

١٠-١٦-عدد ميزات الخلايا الشمسية .

١٠-١٧-ما هو المقصود بمصادر تحويل القدرة ؟

١٠-١٨-عدد أنواع مصادر تحويل القدرة .

١٠-١٩-ارسـم المخطـط الصندوقي لمحول قدرة من متناوب إلى مستمر مبيناً عليه الأجزاء الرئيسية التي يتألف منها .

١٠-٢٠-ارسـم المخطط الصندوقي لمحول قدرة من متناوب إلى متناوب مبيناً عليه الأجزاء الرئيسية التي يتألف منها .

١٠-٢١-اشـرح مـع الرسـم مصادر التغذية التي تحول التيار المستمر من بطارية مشحونة إلى تيار متناوب.

الوحدة الحادية عشرة

أجهزة الحماية والتحكم والكهربائية

المصهرات (الفيوزات) .

تصنيف المصهرات .

المصهرات الأنبوبية .

المصهرات ثنائية المعدن .

مصهرات الإطفاء السائل .

مصهرات القدرة الدائمة .

مقررات المصهرات .

قواطع الدائرة .

قواطع الدائرة الزيتية.

قواطع الدائرة الهوائية .

القواطع الحرارية .

القواطع المغناطيسية .

القواطع الحرارية المغناطيسية.

المرحلات .

المرحلات الكهروميكانيكية .

المرحلات الحرارية .

المرحلات الساكنة .

المرحلات الرقمية .

الوحدة الحادية عشرة

أجهزة الحماية والتحكم والكهربائية

Protection & Control Devices

مقدمة (Introduction):-

تســـتخدم أجهزة الحماية والتحكم الكهربائية للحماية والتحكم في الدوائر الكهربائـــية في حـــالات الأعطال وحالات العمل الطبيعي للنظام الكهربائي، ويفهم العطل بأنه الحالة التي تؤدي إلى تشكل شروط لا تسمح بالعمل الطبيعي لمجموعة الطاقة الكهربائية . "العمل الطبيعي هو الذي يتمثل بتوليد وإرسال الطاقة الكهربائية وتغذية مستهلكي الطاقة الكهربائية وفقاً للشروط المطلوبة للجهد والتردد".

ويمكن تجزئه الأعطال إلى:-

أ- الأعطال التي لا تسمح بعمل مجموعة الطاقة الكهربائية أو عناصرها المصابة، وهذه الأعطال يتوجب إزالتها ذاتياً خلال أقصر وقت ممكن ، "القصر بأنواعه المختلفة".

ب- الأعطـــال أو "الأخطـــار" الـــتي يكـــون معها العمل الطبيعي لمجموعة الطاقة الكهربائـــية أو عناصـــرها مســـموحاً لفترة من الزمن والتي خلالها يتوجب إزالة الســـبب المـــؤدي إلى ذلك الخطر مثل الحمل الزائد "Overload"، والحمل غير المتزن، وانقطاع أحد النواقل...الخ .

ومـــن أهم الأجهزة التي تستخدم في الحماية والتحكم في النظام الكهربائي الفيوزات "المصهرات" وقواطع الدائرة ومرحلات الحماية.

١- المصهرات (الفيوزات) (Fuses) :-

يعــرف المصــهر بأنــه عبارة عن سلك أو شريط مصنوع من معدن معين أو ســبائك خاصة بأبعاد محددة وله درجة انصهار (Melting Point) تتوقف على أبعاده ونوع المادة التي يصنع منها ودرجة حرارتها، وتتوقف درجة حرارة المصهر على مقدار التيار الذي يسري في الدائرة وعلى درجة حرارة الجو المحيط، ويستخدم المصهر لحماية الدائرة الكهربائية وذلك من خلال فصل الحمل عن مصدر التغذية عن طريق انصهار عنصر الانصهار (Melting Element) الموجود بداخله وذلك عندما يسري في الدائرة الكهربائــية تــيار أكبر بكثير من التيار المقرر "الإسمي" (Rating Current)، وعادة تكــون مســاحة مقطــع عنصــر الانصهار أقل بكثير من مساحة مقطع الموصلات المســتخدمة في الدوائــر الكهربائــية المراد حمايتها، ويعتمد عمل المصهر على التأثير الحــراري الــناتج عــن زيادة التيار الكهربائي في الحالات غير الطبيعية "زيادة الحمل وحالات قصر الدائرة"، وتوصل المصهرات على التوالي في الدوائر الكهربائية.

تصــنع المصــهرات بتــيارات مقــررة قياسية Standard Rating Currents حسب NEC هي : -

$$\begin{pmatrix} 1,3,6,10,20,25,30,35,40,45,50,60,70,80,90,100,110,125, \\ 150,175,200,250,300,350,400,450,500,600,700,800, \\ 1000,1200,1600,2000,2500,3000,4000,5000,6000 \end{pmatrix} \text{Ampere}$$

تصنيف المصهرات :- يمكن تصنيف المصهرات حسب العديد من الأسس:-

١- حسب الجهد، تصنف إلى :-

أ-مصهرات الجهد المنخفض (Low Voltage Fuses)، والجهد هنا لا يتجاوز 660 V.

ب-مصهرات الجهد العالي (High Voltage Fuses)،ويكون الجهد أعلى من 660 V.

٢- حسب إذا كانت محددة للتيار أو غير محددة للتيار:

أ- مصهرات غير محددة للتيار (Current Non- Limitting Fuses):-

حيث يتم قطع التيار عند مروره بنقطة الصفر ، أي بعد مروره بقيمته العظمى .

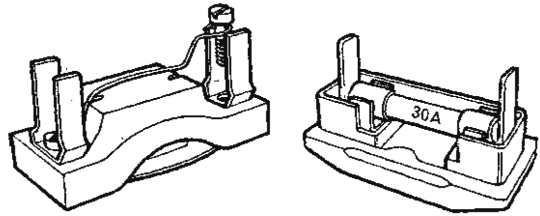
ب-مصهرات محددة للتيار (Current Limitting Fuses) :-

ويمتاز هذا النوع بخاصية الحد من قيمة تيار القصر وذلك بفتح الدائرة قبل أن يصل تيار القصر إلى قيمته العظمى .

٣- من حيث التركيب تصنف إلى :-

أ- مغلقة (Enclosed) مثل المصهرات الأنبوبية (Cartridge Fuses) .

ب- نصف مغلقة (Semi-Enclosed) مثل المصهرات المستخدمة في المنازل والمصنوعة من البورسلان وتكون قابلة للتبديل، ويبين الشكل (١١-١) هذين النوعين.



نصف مغلقة   مغلقة

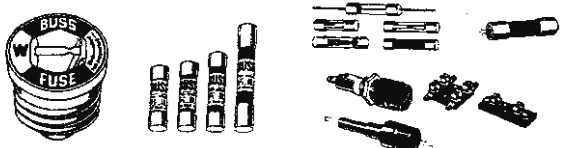
شكل (١١-١)

المصهرات الأنبوبية (Cartridge Fuses) :-

وتتكون من اسطوانة أو كبسولة من مادة عازلة كالزجاج أو السيراميك، وعلى نهايتها غطاءان معدنيان ويوصل بينهما خلال الأسطوانة سلك المصهر.

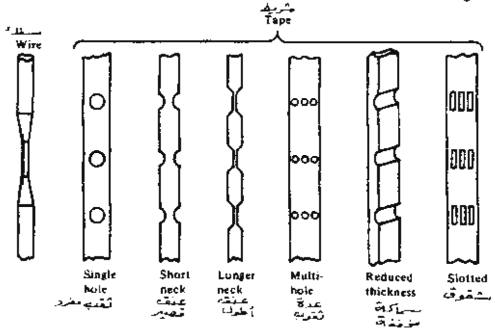
وتملأ بالرمل أو كربونات الكالسيوم أو الكوارتز لتساعد في عملية إطفاء القوس الكهربائي (الشرارة) الناتج عن صهر عنصر الانصهار .

ويبين الشكل (١١-٢) أشكالاً مختلفة من المصهرات وقواعد المصهرات المستخدمة في الدوائر الكهربائية .



شكل (١١-٢)

ويبين الشكل (١١-٣) أشكالاً مختلفة من عناصر الانصهار المستخدمة في المصهرات الأنبوبية.

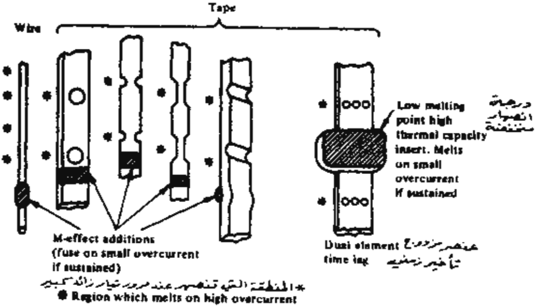


شكل (١١-٣)

المصهرات ثنائية المعدن **(Dual Element Cartridge Fuses)** :-

ويحتوي هذا النوع من المصهرات على عنصر انصهار مكون من معدنين، أحدهما ذو مقطع منخفض ضد تيارات القصر ، والمعدن الآخر له درجة انصهار منخفضة للحماية من زيادة تيار الحمل.

وهذه المصهرات مناسبة لحماية المحركات الكهربالية والتي تتضمن تيارات بدء عالية، كما تستخدم لحماية المغذيات الرئيسية والفرعية، كما يمكن استخدامها كحمايات داعمة **(Back-up)** للقواطع الآلية، ويبين الشكل (١١-٤) بعض أنواع عناصر الانصهار في المصهرات ثنائية المعدن.



شكل (١١-٤)

وعند استخدام هذه المصهرات لحماية المحركات أحادية الطور، فإنها تختار بحيث لا يزيد تيارها عن 125% من التيار الكلي للمحرك، ولكن الكودة الحديثة سمحت بأن يكون تيار المصهر مساوياً 175% من تيار المحرك، وتتميز المصهرات ثنائية المعدن بما يلي :-

١- لها استطاعة قطع عالية (High Rupturing Capacity) تصل إلى $200000\ A$.

٢- تعمل على الحد من التيار في مدى التيارات العالية.

٣- وجود التأخير الزمني يسمح باستخدامها في حماية المحركات والمحولات التي توجد فيها تيارات دفعية (Inrush Currents).

المصهر ذو السلك الرصاصي (Lead wire fuse) :-

وهو من أقدم أنواع المصهرات، ويتكون من أنبوب زجاجي مفرغ (Vacuumed) وعنصر الانصهار فيه مصنوع من مادة الرصاص، ويكون له استطاعة قطع منخفضة $(35\ A)$.

مصهرات القدرة (Power Fuses) :- ويوجد منها نوعان :-

مصهرات الإطفاء السائل:- وتستخدم للجهود المتوسطة، ولها اسطوانة زجاجية مع أغطية معدنية، ويكون جسم الاسطوانة مملوءاً بسائل عازل غير قابل للاشتعال "رابع كلوريد الكربون" (CCl_4) وظيفته إطفاء القوس الكهربائي.

مصهرات القدرة الدائمة :- وفيها يستخدم عمود الصوديوم كعنصر انصهار ضمن وعاء شعري من السيراميك، ويتدفق سائل الصوديوم نحو الأسفل عند إطفاء القوس لحظة فصل الدائرة.

مقررات المصهرات (Fuse Ratings) :-

١- الفولتية المقررة (Rating Voltage) :-

وهي الفولتية التي يعمل عليها المصهر وتحدد أبعاده ودرجة عزله، وعادة تكون الفولتية مساوية أو أكبر بقليل من فولتية الدائرة المراد حمايتها.

٢- التيار المقرر(Rating Current):-

وهـــو التيار الذي يمكن للمصهر تحمله بصورة دائمة، ويكون مساوياً أو أكبر بقليل من تيار الدائرة التي يستخدم فيها.

٣- سعة القطع أو استطاعة القطع (Rupturing Capacity) :-

وهـــي أكـــبر ســـعة بـــ (KVA) يستطيع المصهر قطعها أي فصل الحمل عن مصـــدر الـتغذية ، وذلـك عند تيار القصر الأقصى والفولتية المقررة دون أن يتلف بالكامل، أي أن يقوم المصهر بقطع الدائرة بأمان.

سعة القطع في النظام ثلاثي الأطوار تساوي : $S = \sqrt{3}\ I_{SC\,max} V_n$

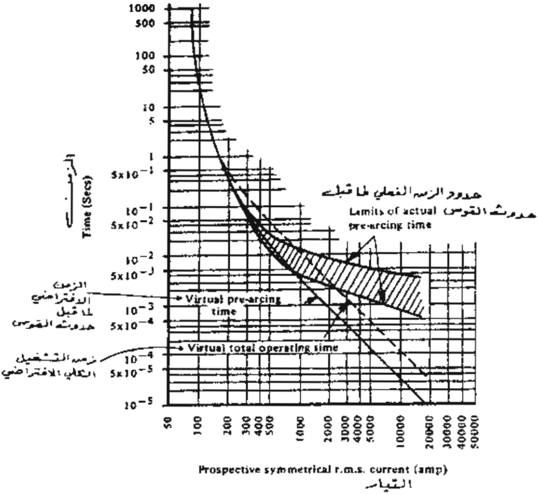
حيث V_n الفولتية المقررة ، $I_{SC\,max}$ تيار القصر الأقصى .

٤- زمن عمل المصهر (Fuse Operation Time):-

وهو مجموع الزمن قبل حدوث القوس (Pre- arcing Time)، أي زمن ابتداء زيـادة التيار بشكل كاف ليسبب انصهار عنصر الانصهار حتى بداية حدوث القوس بالإضافة إلى زمن حدوث القوس حتى لحظة إطفائه (قطع التيار) .

٥- الخاصية بين الزمن والتيار (Time- Current Characteristics):-

وهي العلاقة بين زمن عمل المصهر والتيار المار فيه كما هو مبين في الشكل (١١-٥). ويتبين من المنحنى أن زمن العمل يتناسب عكسياً مع مربع شدة التيار.



شكل (١١-٥)

الشروط الواجب توفرها في المصهرات(**Fuse requirements**) :-

١-يجب أن تعمل بسرعة عالية للحد من تلف الأجهزة المراد حمايتها.

٢-يجب حماية الأجهزة المحيطة من تيارات القصر والطاقة الحرارية المنتشرة أثناء عمل المصهر.

٣- يجب أن تكون هناك عازلية مناسبة لجهد الاستعادة **Recovery Voltage** بعد عمل المصهر.

٤-يجب أن تحافظ على موثوقية عملها، وأن لا تتغير مميزاتها.

ميزات المصهرات (Advantages & Disadvantages of Fuses)

المحاسن :-

١- تكاليفها الأولية بسيطة.

١- سريعة العمل مع إمكانية الحد من تيارات القصر.

٣- تركيبها الميكانيكي بسيط.

٤- تسمح باستعمال أسلاك ذات مقاطع صغيرة في التمديدات.

٥- يمكن استخدامها اكثر من مرة وذلك من خلال تبديل عنصر الانصهار.

المساوئ :-

١- قد لا تستطيع فتح الدارة عند الزيادة القليلة للتيار.

٢- قد لا تحمي من العطل بصورة كلية، حيث قد يفتح المصهر في أحد الأطوار فقط في الدوائر ثلاثية الأطوار.

٣- يجب تبديل قياس نوع عنصر الانصهار للتحكم بزمن قطع التيار.

٤- تستعمل فقط في دوائر القدرة المنخفضة والمتوسطة.

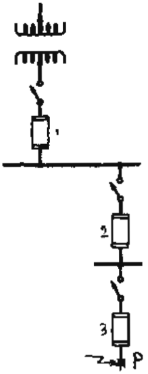
الانتقائية في عمل المصهرات (Selectivity in Fuse Operation) :-

لا تختار المصهرات على أساس قدرتها على نقل تيارات الحمل أو فصل تيارات القصر فقط ، بل أيضاً يفترض اختيارها بحيث يتمكن المصهر الأقرب إلى نقطة العطل من فصل الدائرة دون أن يتم فصل باقي الدوائر في النظام الكهربائي، وتسمى هذه الخاصية التنسيق (Coordination) بين أجهزة الحماية، وقد نصت المادة $(NEC/517-5)$ على ضرورة تحقيق الانتقائية بين أجهزة الحماية لمنع التعتيم الكامل (فقد استمرارية التغذية الكهربائية) .

ويبين الشكل (١١-٦) نظاماً كهربائياً تتحقق فيه خاصية التنسيق (الانتقائية) .

حيث أن التيارات الاسمية للفيوزات هي :- $F_1 = 800\ A, F_2 = 200\ A, F_3 = 100\ A$

فـتلاحظ أن النسبة بين تياري F_2, F_1 هي $\frac{800}{200}$ ، فمثلاً عند حدوث عطل في النقطة (P) فالأولوية بالعمل تكون للمصهر (F_3) .



شكل (١١-٦) الانتقائية في عمل المصهرات

٢- قواطع الدائرة (Circuit Breakers) :-

يعـرف قـاطع الدائرة بأنه عبارة عن جهاز يستخدم لقطع التيار في الدائرة الكهربائية في الظروف الطبيعية وغير الطبيعية (الأعطال) حيث يستخدم لفصل الحمل عـن الدائرة الكهربائية يدوياً أو آلياً. يعمل قاطع الدائرة كجهاز تحكم لفتح وإغلاق الدائـرة الكهربائـية في الحالات الطبيعية أي الحالات التي لا يتجاوز فيها التيار قيمته الاسمية ، أما عند تجاوز التيار المار في الدائرة الكهربائية لقيمته الاسمية (حالات الأعطال والأخطار) فإن قاطع الدائرة يعمل كجهاز حماية آلي.

ويتم تركيب قاطع الدائرة بالإضافة إلى المصهرات، حيث يتطلب عزل الدائرة الكهربائيـــة في الظروف الطبيعية وغير الطبيعية سرعة الأداء والأمان دون أية أخطار عـــلى العـــاملين أو المعدات، ولهذا صممت القواطع الكهربائية لتفي بأغراض الأمان والسرعة.

تصنيف قواطع الدائرة واستخداماتها حسب جهدها.

يمكن تصنيف قواطع الدائرة والأدوات التابعة لها إلى:-

١-قواطع الجهد المنخفض: ويكون جهدها لغاية $(1\ KV)$.

٢-قواطع الجهد المتوسط- المنخفض :ويتراوح جهدها بين $KV\,(15-2.3)$، واستطاعة القطع لها بين $MVA\,(500-25)$.

٣-قواطـــع الجهـــد المتوسط - العالي: ويتراوح جهدها بين $KV\,(33-15)$، واستطاعة القطع لها بين $MVA\,(2500-500)$.

٤-قواطع الجهد العالي: وجهدها يكون أكبر من $33\ KV$.

استخدامات قواطع الدائرة :-

١-تستخدم قواطع الدائرة ذات الجهد المنخفض في دوائر الإنارة والقدرة في الأبنية وبعض المنشآت الصناعية، وفي السكك الحديدية وفي الأجهزة المساعدة لمحطات القدرة ذات القدرات المنخفضة، وتكون هذه القواطع عادة من النوع الهوائي.

٢- تستخدم قواطع الدائرة ذات الجهد المتوسط- المنخفض في محطات القدرة الصـــغيرة، وفي الأجهـــزة المساعدة لمحطات القدرة الكبيرة، ومعظم هذه القواطع من النـــوع الـــزيتي، إلا أن الاتجـــاه حديثاً نحو القواطع الهوائية ذات الإطفاء المغناطيســي (Magnetic blow- out type).

٣-تستخدم قواطع الدائرة ذات الجهد المتوسط – العالي في محطات التحويل الهامة (Substations) وفي دوائر المولدات في محطات توليد الطاقة ، وأكثر الجهود شيوعاً هو $(13.8\ KV)$ ، وأكثر استطاعات القطع استعمالاً هي $MVA\ (1000,1500,2500)$ ، وقد استخدمت القواطع الزيتية بكثرة في هذا المجال ، إلا أن القواطع الهوائية ذات الهواء القسري (Air-Blast C.B.) أخذت تحتل مكان القواطع الزيتية.

٤-تستخدم قواطع الدائرة ذات الجهد العالي في خطوط النقل الهامة (Transmission Lines) حيث تكون عادة زيتية من النوع الخارجي المركب على الأرض (Floor-mounted) ضمن أوعية حديدية . وقد درج استخدام القواطع الهوائية ذات الهواء القسري حديثاً . وتمتاز قواطع الدائرة ذات الجهد العالي بكبر استطاعتها وصغر زمن القطع.

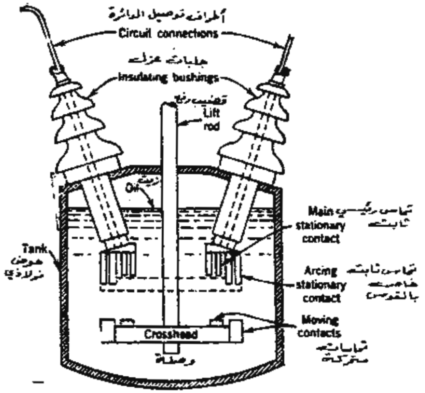
تصنيف قواطع الدائرة حسب الوسط العازل (وسيلة إطفاء القوس الكهربائي):-

في اللحظة التي تبدأ فيها تماسات قاطع الدائرة بالانفصال فإن التيار يكون كبيراً جداً وفرق الجهد قليلاً ، والانفصال الصغير بين التماسات لا يؤدي إلى انقطاع التيار فوراً، لأنه حين تتباعد التماسات، تزداد المقاومة بينها، مما يؤدي إلى زيادة الضياعات الحرارية في هذه المقاومة $(I^2.R)$ فيؤدي ذلك إلى تأين الهواء الموجود بين التماسات مما يؤدي إلى تشكل ما يسمى القوس الكهربائي، لذلك فلا بد من وسائل تساعد على إطفاء القوس الكهربائي، لذلك تصنف قواطع الدائرة (ما عدا قواطع الدائرة ذات الجهد المنخفض) إلى:

١- قواطع الدائرة الزيتية (Oil Circuit Breakers):

يبين الشكل (١٠-٧) مقطعاً لقاطع دائرة زيتي .

حيث يتم انقطاع التيار في هذا النوع من القواطع ضمن الزيت الذي يساعد بواسطة تأثيره المبرد في إطفاء القوس الكهربائي، كما يسمح الزيت بفضل صفاته العازلة بتباعد بين الأجزاء الحية (التماسات) أصغر مما يمكن السماح به ضمن الهواء.



شكل (١١-٧)

مكونات قاطع الدارة الزيتي هي :-

١- الحوض الفولاذي.

٢-العازل السيراميكي.

٣-التماسات الثابتة.

٤-التماسات المتحركة.

٥-العازل الداخلي للقاطع.

محاسن قواطع الدارة الزيتية :-

١- بساطة التركيب.
٢- قدرة الفصل عالية.
٣- سرعة الفصل عالية.

مساوؤها هي :-

١- الخطر الناجم عن الانفجار بسبب الضغط المرتفع.
٢- خطر الحريق.
٣- تتطلب مراقبة مستمرة لمستوى الزيت.
٤- غير فعالة للمنشآت الداخلية.
٥- حجم الزيت الذي تحتاجه كبير.
٦--يجب توفر احتياطي من الزيت دائماً.

٢- قواطع الدارة الهوائية (Air Circuit Breakers):-

وتستم عملية إطفاء القوس الكهربائي في مثل هذا النوع من القواطع بواسطة الهــواء المضغوط ، أما عملية عزل الإجراء الموصلة للتيار ومعدات إطفاء القوس فتتم بواســطة مادة الخزف العازلة أو أية مادة عازلة صلبة أخرى، وأنواع القواطع الهوائية من وجهة نظر تصنيعها كثيرة حيث تعتمد على عدة عوامل منها :-

١- الجهد الاسمي للقاطع.
٢- طريقة ضخ الهواء اللازم لإطفاء القوس.
٣- طريقة الحصول على فراغ عازل بين التماسات الرئيسية.

وتصنع القواطع الهوائية للمنشآت الداخلية بجهود KV (15,20,35)،وتتحمل تـــياراً لغاية ($20\ KA$) أما القواطع الهوائية للمنشآت الخارجية فتصنع بجهود ابتداء من ($35\ KV$) حتى ($750\ KV$).

محاسن القواطع الهوائية :-

١- لا يوجد خطر الحريق أو الانفجار.

٢- سرعة القطع عالية.

٣- عدم تلف غرف الإطفاء نتيجة العمل المتكرر.

مساوؤها :-

١- تكلفة عالية.

٢- تعقيد تصنيعها الميكانيكي.

٣- صعوبة وصل أجهزة القياس لمحولات التيار وغيرها.

٣- قواطع غاز سادس فلوريد الكبريت (SF6 Circuit Breakers).

وهذه القواطع تعتمد في إطفاء القوس الكهربائي على غاز (SF6)، وهو عبارة عـــن غاز اصطناعي عديم اللون والرائحة،وغير سام، ولا يتفاعل كيميائياً، وغير قابل للاشـــتعال ، وهـــذا الغاز له خصائص حرارية ممتازة وقابلية عالية للتأين السالب أي جذب الإلكترونات الحرة مما يجعله وسطاً مثالياً لإخماد القوس الكهربائي.

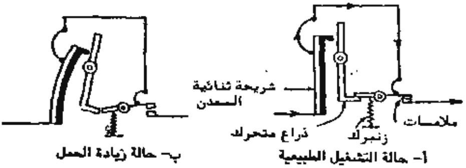
٤-قواطع الدارة المفرغة (Vacuumed CB) :-

حيـــث يتم تفريغ الهواء من الحجرة التي تحتوي على التماسات، مما يجعل صلابتها أمام حـــدوث القوس الكهربائي أكبر من الحجرة التي تحتوي على الهواء، وتتميز القواطع المفـــرغة ببساطة تركيبها وحجمها الصغير ومقاومتها للانفجار والحريق وطول عمرها التشغيلي، أما مساوؤها فهي أنها لا تستخدم للتيارات والجهود العالية جداً.

وعـــادة يفضل استخدامها للجهود $KV\,(110-10)$ ومن أجل تيارات لغاية $(31.5\ KA)$.

تصنيف قواطع الجهد المنخفض حسب مبدأ عملها :-

١- القواطــع الحـــرارية (.Thermal C.B) :- وظيفتها هي حماية الدوائر الكهربائـــية من تيارات زيادة الحمل (Overload) وتتكون من شريحة ثنائية المعدن من معدنـــين لهمـــا معامل تمدد حراري طولي مختلف . وعند مرور تيار يتجاوز تيار الحمل الاسمـــي تنحني الشريحة فتدفع ذراع الإفلات مما يجعل الزمبرك يسحب الذراع الذي يحمـــل الـــتماس المتحرك فيبعده عن التماس الثابت فتفصل الدائرة الكهربائية. وكلما زادت قيمة تيار زيادة الحمل قل زمن تشغيل القاطع، وعادة لا تستجيب الشريحة إلا إذا وصـــل تيار الحمل إلى 110 % من القيمة الاسمية . وعندما يكون تيار تجاوز الحمل $\%(140-130)$ فيـــتم الفصل بعد ساعة تقريباً، أما إذا وصل التيار إلى 200 % فيتم الفصـــل بعد $sec\,(100-20)$. ويبين الشكل (١١-٨)تركيب ومبدأ عمل القاطع الحراري.

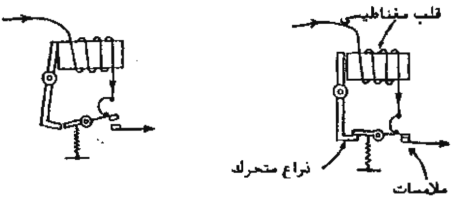


شكل (١١-٨)

٢- القواطع المغناطيسية (.Magnetic C.B) :-

نظـــراً لأن القواطع الحرارية تتميز بأنها ذات زمن تشغيل طويل فهي لا تعطي أية حماية ضد تيارات القصر، وتقوم بهذه الوظيفة القواطع الكهرومغناطيسية .

ويـــتكون هـــذا النوع من القواطع من ملف ذي قلب حديدي يعمل كدافع لتشغيل ذراع الإفـــلات عـــند زيادة التيار عن قيمة معينة . ويكون زمن الفصل في مثل هذا النوع من القواطع صغيراً جداً $m\,sec\,(30-10)$. وقد تكون الفترة الزمنية محددة من قبل الصانع أو قابلة للتغيير، ويمكن إدخال تأخير زمني يتراوح بين $m\,sec\,(500-50)$ وذلك باستخدام مؤقت إلكتروني ويبين الشكل (١١-٩) تركيب ومبدأ عمل القاطع المغناطيسي.



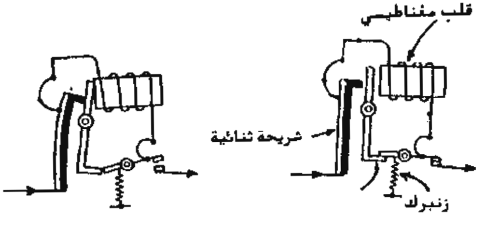
أ- ظروف التشغيل العادية

ب- حالة زيادة الحمل

شكل (١١-٩)

٣- القواطع الحرارية المغناطيسية (Thermal- Magnetic C.B.) :-

وهذا النوع يجمع مواصفات النوعين السابقين حيث يعمل كقاطع حراري ضد زيـــادة الحمـــل، وكقاطع مغناطيسي ضد حالات القصر. والشكل (١١-١٠) يبين تركيب ومبدأ عمل القاطع الحراري المغناطيسي .



(أ) حالة التشغيل الطبيعية (ب) حالة زيادة الحمل

شكل (١١-١٠)

مقارنة بين القواطع والمصهرات :-

مــن المعروف أن المصهرات أول العناصر التي استخدمت في مجال الحماية من الأعطــال فهي تستطيع أن تعزل الأجهزة والدوائر المتعطلة من الشبكة بسرعة عالية، وتعتــبر ذات فعالية وموثوقية كبيرة ولا تزال تستخدم بشكل كبير في دوائر التوزيع، إلا أنهــا تعــاني مــن بعض المساوئ، فهي تحتاج إلى التبديل قبل إعادة وصل الدائرة الكهربائية، ويمكن أن ينصهر عنصر الانصهار في أحد الأطوار فقط ويبقى الجهد على الطورين الآخرين، لذلك فهي لا تحمي من العطل بصورة تامة في بعض الأحيان.

أمــا القواطــع الكهربائــية الآلية فهي تعمل على فصل الأطوار الثلاثة، لأن التماســات الــثلاثة يتم التحكم بها بواسطة ذراع واحد، وأيضاً فإن القواطع تكون مزودة بحماية حرارية ضد زيادة الحمل وحماية مغناطيسية ضد حالات القصر.

وتتمــيز القواطــع بإمكانية فتح وإغلاق الدائرة الكهربائية في حالات العمل الطبيعية وحالات العطل ، كما تتميز بإمكانية تغيير الزمن والتيار لهذه القواطع للتحكم بتيار العطل وزمن الفصل.

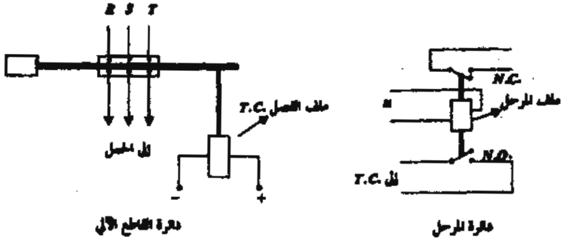
ولدى المقارنة بين المصهرات والقواطع الكهربائية يتبين أن القواطع أفضل من الناحـــية الفنية ولكنها مكلفة أكثر من المصهرات، أما المصهرات فإنه يقتصر استعمالها عـــلى الدوائر الفرعية لسرعتها وقلة تكاليفها، كما أن المصهرات لا يمكن تغييرها من أجل فصل الأعطال إلا بتبديل قياس أو نوع مادة عنصر الانصهار.

٤ – المرحلات (Relays) :–

وهـــي عبارة عن أجهزة حماية تستطيع إجراء عمليات قياس أو استقبال إشارات تحكم حيـــث تســـتطيع أن تعمـــل على اكتشاف (تحديد)حدوث حالة غير طبيعية في النظام الكهـــربائي ومـــن ثم تقوم بإعطاء أوامر ذات تغير معين في دائرة أو عدة دوائر خرج كهربائـــية (مـــثلاً ملف الفصل(Trip coil) في دارة القاطع الآلي C.B.) لكي يقوم بفصل التغذية الكهربائية عن الجزء المعطل من النظام الكهربائي.

والذي يحدد حدوث حالة العمل غير الطبيعية (Abnormal Condition) قد يكون ظهور أو اختفاء أو تغير القيم المغذية المقدمة إلى المرحل بهدف حثه على العمل.

ويـــتكون المرحل عادة من ملف وتماس واحد أو أكثر بحيث يعمل الملف على جـــذب أو دفـــع قلب حديدي يعمل على إغلاق أو فتح تماس من أجل إغلاق دائرة ملف الفصل لقاطع الدائرة لفصل التغذية عن الجزء المعطل من النظام، ويبين الشكل (١١–١١) الدائرة الكهربائية لكل من المرحل وقاطع الدائرة.



الشكل (١١-١١)

تصنيف المرحلات حسب طريقة إدخال المقادير المغذية :-

أ- مرحلات أولية :- حيث تقدم المقادير المغذية إلى المرحل بشكل مباشر.

ب- مرحلات ثانوية: حيث تقدم المقادير المغذية إلى المرحل عبر محولات قياس جهد أو محولات قياس تيار أو عبر النوعين معاً (مثل مرحل القدرة).

تصنيف المرحلات حسب استخدامها:

أ-مرحلات مساعدة:- حيث تتحسس المرحلات المساعدة ظهور أو اختفاء المقادير المغذية ، مثل "مرحلات الإشارة، والمرحلات الزمنية، والمرحلات الوسيطة ".

ب-مرحلات قياس:- حيث تتحسس مرحلات القياس قيم المقادير المقاسة بدقة معينة، مثل "مرحلات زيادة التيار، ومرحلات انخفاض الجهد ...الخ ".

تصنيف المرحلات تبعاً لنوع المقادير المقاسة :-

تيارية ، جهدية ، مرحلات قدرة ، مرحلات ممانعة ، مرحلات انخفاض التردد ، مرحلات حرارية.

تصنيف المرحلات حسب التركيب :

١- مرحلات كهروميكانيكية (Electromechanical Relays).

٢-مرحلات حرارية (Thermal Relays).

٣-مـرحلات الحالـة الصـلبة (Solid State Relays) أو المرحلات السـاكنة (Static) .

٤-مرحلات رقمية (Digital Relays).

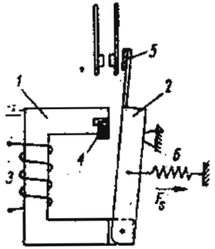
١- المرحلات الكهروميكانيكية ، وتقسم إلى :-

أ-المـرحلات الكهرومغناطيسـية "مرحل بكباس، مرحل مفصل ، مرحل الذراع المجذوب ، المرحل المستقطب" .

ب- المرحلات المغنا-كهربائية "مرحلات الملف المتحرك".

ج- المـرحلات الحثـية :- "المرحل الحثي ذو القطب المظلل، المرحل الحثي ذو الملفين ، المرحل الحثي ذو الفنجان ".

تعـتمد المرحلات الكهرومغناطيسية في عملها على القوى المتبادلة بين الذراع المـتحرك (Armature) القابل للحركة وبين المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي في ملفات مثبتة (Fixed) على قلب حديدي (Iron Core) ثابت . ويثبت الـذراع المـتحرك بمحور يستطيع الحركة ضمن المجال المغناطيسي . ويمكن أن يحمل الذراع المتحرك نقاط التماس (التماسات Contacts) .والشكل (١١-١٢) يبين أحد أنواع المرحلات الكهرومغناطيسية (وهو المرحل ذو الذراع المجذوب) .

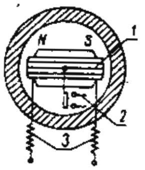


شكل (١١-١٢)

حيـــث يـــتألف هذا المرحل من قلب حديدي (1) يلف عليه ملف (3) وذراع (2) وزمــــبرك (6) وملامسـات (5) .ومن اجل التخلص من ظاهرة الاهتزاز(الذبذبة) في المرحل يزود هذا المرحل بحلقة من النحاس (4) تقوم بتجزئة الفيض المغناطيسي .

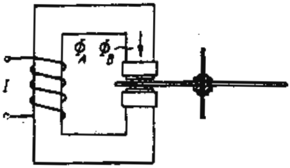
أمـــا المــــرحلات المغـــنا-كهربائـــية فتكون بشكل عام من مغناطيس دائم (Permanent Magnet) وملفـــات متحركة (Moving Coils) يتم تغذيتها من مصدر كهـــربائي مســـتمر(DC Power Supply) وتتكـــون هذه الملفات ملفوفة على قلب حديـــدي يرتكـــز على مسندين ويثبت على القلب ذراع يحمل على رأسه تماساً يعمل عـــلى توصــــيل تماسات المرحل في حال عمله ، وتعتمد هذه المرحلات في عملها على الـــتأثير المتـــبادل بين المجال المغناطيـــي الناتج عن المغناطيس الدائم والمجال المغناطيـــي الناتج عن مرور التيار الكهربائي في الملف المتحرك مما يؤدي إلى نشوء عزم دوران.

والشكل (١١-١٣) يبين أحد أنواع هذه المرحلات ، حيث تتألف من ملف (1) وملامسـات (2) ومداخل إلى أطراف الملف .



شكل (١١-١٣)

وتعتبر المرحلات الحثية من أكثر المرحلات استخداماً في أنظمة الحماية نظراً للتنوع الكبير في خصائصها الزمنية والذي يعطيها إمكانية التنسيق بينها وبين القواطع والمصهرات الموجودة في النظام الكهربائي وتعتمد المرحلات الحثية في عملها على التأثير المتبادل بين مجالين مغناطيسيين Φ_A, Φ_B مع التيارات الدوامية (الإعصارية) المتعرضة في الجزء المتحرك من المرحل والذي يمكن أن يكون قرصاً من الألمنيوم أو فنجاناً من الألمنيوم أيضاً.والشكل (١١-١٤) يبين أحد أنواع المرحلات الحثية (وهو المرحل الحثي ذو القرص) .



شكل (١١-١٤)

٢- المرحلات الحرارية :-

وتعـتمد في عمـلها على كمية الحرارة الناتجة عن تسخين العنصر المعدني في المرحل نتيجة لمرور التيار الكهربائي فيه وتستخدم هذه المرحلات عادة لحماية الدوائر الكهربائية من أخطار زيادة الحمل ، وعمل هذه المرحلات يعتمد على التأثيرات الناتجة عن :

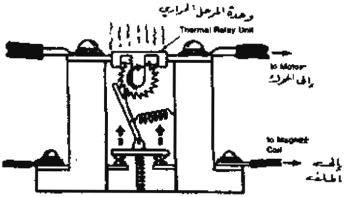
أ- تمدد الأجسام الصلبة والسائلة.

ب- التغير في مقاومة المعدن.

ج- التغير في القيمة لمقاومة حساسة خاصة.

د- إنتاج قوة دافعة كهروحرارية.

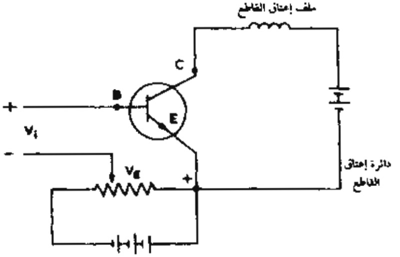
وهـذه التأثيرات يمكن أن تستخدم كمبادئ لعمل المرحلات الحرارية ، حيث يثبت عنصر التسخين (Heating Element) مع تماس . وبشكل عام فإن المرحلات الحرارية تستخدم في حماية المحركات والمحولات الكهربائية من ارتفاعات الحمل أو الأحمال غير المتزنة . والشكل (١١-١٥) يبين أحد أنواع المرحلات الحرارية (وهو المرحل ذو السبيكة المنصهرة) .



شكل (١١-١٥)

٣- المرحلات الستاتيكية (الساكنة) أو مرحلات الحالة الصلبة (Solid State):-

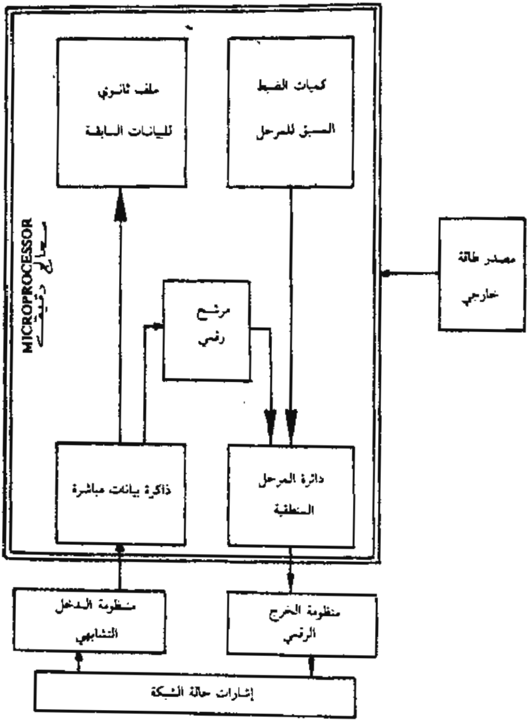
ويعـــرف المرحل الستاتيكي بأنه مرحل تنشأ فيه الاستجابة المطلوبة عن طريق مكونـــات إلكترونية (ديودات وترانزستورات وثايرستورات) أو مكونات مغناطيسية أو أيـــة مكونـــات أخـــرى دون حـــدوث حركة . ويمكن القول إن معظم وظائف وخصــــائص المـــرحلات الكهروميكانيكية قد أمكن تحقيقها الآن عن طريق المرحلات الســـتاتيكية بصـــورة اقتصـــادية وأداء أفضل.والشكل (١١-١٦) يبين أحد أنواع المرحلات الساكنة (مرحل ترانزستوري) .



شكل (١١-١٦)

٤- المرحلات الرقمية :-

وهـــي المرحلات التي تحتوي على دوائر رقمية يتم التحكم فيها بواسطة معالج دقـــيق (Microprocessor) حيـــث يمكن الحصول بواسطتها على خواص تشغيلية دقـــيقة، كما تمتاز أيضاً بـــرعتها العالية وخلوها من التماسات.والشكل (١١-١٧) يبين المخطط الصندوقي للمرحل الرقمي .


ملف ثانوي
للبيانات السابقة
كميات الضبط
المسبق للمرحل
MICROPROCESSOR
معالج رقمي
مصدر طاقة
خارجي
مرشح
رقمي
ذاكرة بيانات مباشرة
دائرة المرحل
المنطقية
منظومة المدخل
التشابهي
منظومة المخرج
الرقمي
إشارات حالة الشبكة

شكل (١١-١٧)

أسئلة

١١-١- عرف العطل في الدوائر الكهربائية .

١١-٢- عرف المصهر .

١١-٣- اذكر تصنيف المصهرات حسب الجهد .

١١-٤- عدد ميزات الشريحة ثنائية المعدن .

١١-٥- اذكر الشروط الواجب توفرها في المصهرات .

١١-٦- عرف القاطع الكهربائي .

١١-٧- اذكر أهم استخدامات القواطع الكهربائية .

١١-٨- اذكر تصنيف قواطع الجهد المنخفض حسب تركيبها .

١١-٩- اذكر الفرق بين القاطع الحراري والقاطع المغناطيسي .

١١-١٠- قارن بين القواطع والفيوزات .

١١-١١- عرف المرحل الكهربائي .

١١-١٢- اذكر تصنيف المرحلات حسب مبدأ العمل .

١١-١٣- اشرح مبدأ عمل المرحل الحراري .

١١-١٤- عرف المرحلات الستاتيكية .

١١-١٥- عرف المرحلات الرقمية .

أسئلة عامة

اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي :

١- قيمة التيار الناتج عن مرور شحنة مقدارها $14\,C$ خلال ناقل لفترة زمنية تساوي $7\,sec$ تساوي :-

أ- $2\,A$ ب- $98\,A$ ج- $21\,A$ د- $7\,A$.

٢-وحدة قياس التيار الكهربائي هي :

أ-الفولت ب-الاوم ج- السيمنز د-الامبير .

٣-وحدة قياس الجهد الكهربائي هي :

أ-الفولت ب-الاوم ج- السيمنز د-الامبير .

٤-أحد المصطلحات التالية يستخدم لوصف الجهد :

أ-فرق الجهد ب-القوة الدافعة الكهربائية ج- الضغط د-كل ما ذكر .

٥-مقاومة الموصل لمرور التيار الكهربائي تكون :

أ-مرتفعة ب-منخفضة ج- متوسطة د-اكبر ما يمكن .

٦-وحدة قياس الموصلية هي :

أ-الفولت ب-الاوم ج- السيمنز د-الامبير .

٧- الدائرة المفتوحة تسبب :

أ-عدم مرور التيار ب-مرور تيار كبير

ج- فصلاً في الدائرة د- الخياران (أ و ج).

٨- الموصلية بالسيمنز لمقاومة $100\,\Omega$ تساوي :

أ- 100 ب- 10 ج- 0.1 د- 0.01 .

٩- وحدة قياس المقاومة الكهربائية هي :

أ-الفولت ب-الاوم ج- السيمنز د-الامبير .

١٠- التيار يتناسب مع :

أ-الجهد ب-المقاومة .

ج- الخياران (أ وب) د-لاشيء مما ذكر.

١١-إذا كان الجهد المطبق على دائرة كهربائية $15\,V$ وكانت المقاومة الكلية للدائرة تساوي $5\,\Omega$ فإن التيار المار من خلال هذه الدائرة يساوي :

أ- $3\,A$ ب- $4\,A$ ج- $5\,A$ د- $75\,A$.

١٢- إذا مر تيار خلال دائرة كهربائية قيمته تساوي $3\,mA$ وكانت المقاومة الكلية للدائرة تساوي $25\,K\Omega$ فإن قيمة الجهد المطبق على هذه المقاومة يساوي :

أ- $63\,mV$ ب- $25\,V$ ج- $77\,\mu V$ د- $75\,V$.

١٣- وحدة قياس القدرة هي :

أ-الفولت ب-الجول ج- الواط د-الامبير .

١٤- وحدة قياس الشغل هي :

أ-الفولت ب-الجول ج- الواط د-الامبير .

١٥- قيمة القدرة المستهلكة في مقاومة $2\,K\Omega$ عندما يمر من خلالها تيار $20\,mA$ تساوي :

أ- $40\,W$ ب- $4\,W$ ج- $0.8\,W$ د- $1.25\,W$.

١٦-التيار المستمر (المباشر) هو :

أ-التيار الذي يتغير تبعاً للزمن

ب-التيار الذي لا تتغير قيمته ولا اتجاهه تبعاً للزمن .

ج- التيار الذي ينتج عن الجهد المتناوب. د-لاشيء مما ذكر.

١٧-إذا تمـــت مضاعفة قيمة المقاومة لدائرة كهربائية مع تثبيت قيمة الجهد فإن قيمة التيار في هذه الحالة :

أ-تساوي الضعف　　　　ب- تساوي النصف

ج- تساوي ثلاثة أضعاف　　　　د-تبقى كما هي .

١٨-إذا تم وصل مقاومتين R_1, R_2 على التوالي في دائرة كهربائية يمر من خلالها تيار كلي قيمته $2\ A$ فإن قيمة التيار المار من خلال المقاومة R_1 يساوي :

أ- $1\ A$　　ب- $4\ A$　　ج- $2\ A$　　د- $0.5\ A$.

١٩- هبوط الجهد على أطراف مقاومة يتناسب مع :

أ-التيار المار من خلال المقاومة　　　　ب- قـــيمه المقاومـــة .

ج- الخياران (أ) و(ب)　　　　د-لاشيء مما ذكر.

٢٠- عند تطبيق جهد $12\ V$ على دائرة كهربائية تحتوي على اربع مقاومات موصولة على التوازي فإن قيمة فرق الجهد على كل مقاومة تساوي:

أ- $12\ V$　　ب- $3\ V$　　ج- $48\ V$　　د- $4\ V$.

٢١-قـــيمة هـــبوط الجهد على مقاومتين قيمة كلٍ منهما $25\ \Omega$ عند وصلهما على التوازي مع مصدر جهد $9\ V$ تساوي :

أ- $50\ V$　　ب- $12\ V$　　ج- $6\ V$　　د- $9\ V$.

٢٢- دائرة كهربائية مؤلفة من ثلاث مقاومات موصولة على التوازي ، إذا كان التيار الكـــلي لهـــذه الدائرة يساوي $500\ mA$ والتيار المار من خلال المقاومة الاولى يساوي $207\ mA$ والتيار المار من خلال المقاومة الثانية يساوي $153\ mA$ فإن قيمة التيار المار من خلال المقاومة الثالثة يساوي :

أ- $707\ mA$　　ب- $653\ mA$　　ج- $140\ mA$　　د- $153\ mA$.

٢٣- التيار الكلي في دائرة كهربائية مؤلفة من مقاومات موصولة بشكل مركب يتم الحصول عليه من ناتج قسمة الجهد الكلي للدائرة على :

أ-المقاومة الكلية ب-القدرة الكلية

ج- الموصلية الكلية د-لاشيء مما ذكر .

٢٤-قيمة المقاومة الداخلية لمصدر الجهد المثالي تساوي :

أ- $0\ \Omega$ ب- $\infty\ \Omega$ ج- $100\ \Omega$ د-لاشيء مما ذكر .

٢٥-قيمة المقاومة الداخلية لمصدر التيار المثالي تساوي :

أ- $0\ \Omega$ ب- $\infty\ \Omega$ ج- $100\ \Omega$ د-لاشيء مما ذكر .

٢٦- عندما تحترق مقاومة في دائرة كهربائية فإنه يحدث :

أ- زيادة بسيطة في قيمتها ب- نقصان بسيط في قيمتها

ج- حالة قصر د-حالة دائرة مفتوحة .

٢٧- في الدوائر الكهربائية المؤلفة من مجموعة مقاومات موصولة بشكل مركب، إذا كانت إحدى مقاومات التوالي مفتوحة فإن قيمة التيار في هذه الحالة :

أ- تزداد ب- تقل

ج- تساوي الصفر د-لاشيء مما ذكر .

٢٨- في الدوائر الكهربائية المؤلفة من مجموعة مقاومات موصولة بشكل مركب، إذا كانت إحدى مقاومات التوازي مفتوحة فإن قيمة التيار في هذه الحالة :

أ- تزداد ب- تقل ج- تساوي الصفر د-لاشيء مما ذكر .

٢٩- في الدوائر الكهربائية المؤلفة من مجموعة مقاومات موصولة بشكل مركب، إذا كانت إحدى مقاومات التوالي مقصورة فإن قيمة التيار في هذه الحالة :

أ- تزداد ب- تقل ج- تساوي الصفر د-لاشيء مما ذكر .

٣٠- في الدوائر الكهربائية المؤلفة من مجموعة مقاومات موصولة بشكل مركب، إذا كانت إحدى مقاومات التوازي مقصورة فإن قيمة التيار في هذه الحالة :

أ- تزداد　　　　ب- تقل

ج- تساوي الصفر　　　　د-لاشيء مما ذكر .

٣١- مقاومة سلك طوله $1m$ ومساحة مقطعه $0.1cm^2$ تعطى بالعلاقة :

أ- $\rho.10^3\ K\Omega$　　　　ب- $\rho.10^3\,\Omega$

ج- $\rho.10^5\ \Omega$　　　　د- $\rho.10^{-3}\ K\Omega$

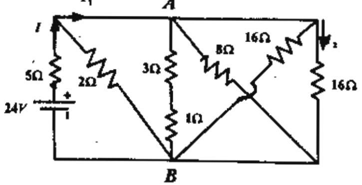
٣٢-إذا طبق جهد مستمر قدره $10V$ على مقاومة قدرها 100Ω فان القدرة المستهلكة في المقاومة تساوي:

أ- $10\,W$　　ب- $1\,KW$　　ج- $1\,W$　　د- $0.1\,W$.

٣٣- إذا مر تيار مباشر قيمته $10A$ من خلال مقاومة قيمتها 100Ω فان القدرة المبددة في المقاومة تساوي :

أ- $10W$　　ب- $100W$　　ج- $1KW$　　د- $10KW$.

للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (١) ، اختر الإجابة الصحيحة للأسئلة من الرقم (٣٤) لغاية الرقم (٤٠) .



شكل (١)

٣٤-المقاومة المكافئة للدائرة تساوي :

أ- 3Ω ب- 4Ω ج- 5Ω د- 6Ω

٣٥- التيار I يساوي :

أ- $4A$ ب- $4.8A$ ج- $6A$ د- $12A$

٣٦- التيار I_1 يساوي:

أ- $2.4A$ ب- $3A$ ج- $2A$ د- $6A$

٣٧- التيار I_2 يساوي :

أ- $0.3A$ ب- $0.375A$ ج- $0.75A$ د- $0.25A$

٣٨- فرق الجهد بين النقطتين (A,B) يساوي:

أ- $4V$ ب- $5V$ ج- $6V$ د- $8V$

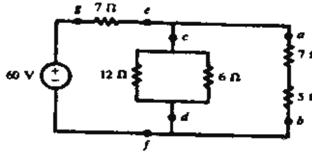
٣٩- القدرة الفعالة المبددة في المقاومة 5Ω تساوي :

أ- $80W$ ب- $115.2W$ ج- $180W$ د- $720W$

٤٠- القدرة الكلية للدائرة تساوي :

أ- $138.2W$ ب- $96W$ ج- $216W$ د- $864W$

للدائرة المبينة في الشكل (٢) اختر الاجابة الصحيحة للأسئلة من الرقم (٤١) لغاية الرقم (٥٣) .



شكل (٢)

٤١– المقاومة المكافئة للدائرة تساوي :

أ– $12\ \Omega$ ب– $10\ \Omega$ ج– $15\ \Omega$ د– $20\ \Omega$

٤٢– التيار الكلي للدائرة يساوي :

أ– $5\ A$ ب– $3\ A$ ج– $6\ A$ د– $4\ A$

٤٣– المقاومة المكافئة للفرع cd تساوي :

أ– $3\ \Omega$ ب– $5\ \Omega$ ج– $6\ \Omega$ د– $4\ \Omega$

٤٤– المقاومة المكافئة للفرع ab تساوي :

أ– $12\ \Omega$ ب– $4\ \Omega$ ج– $7\ \Omega$ د– $3\ \Omega$

٤٥– التيار المار في الفرع cd يساوي :

أ– $4.5\ A$ ب– $5.5\ A$ ج– $3\ A$ د– $6\ \Omega$

٤٦– التيار المار من خلال المقاومة $6\ \Omega$ يساوي :

أ– $4\ A$ ب– $3\ A$ ج– $5\ A$ د– $2\ A$

٤٧–التيار المار من خلال المقاومة $12\ \Omega$ يساوي :

أ– $0.5\ A$ ب– $1\ A$ ج– $1.5\ A$ د– $2\ A$

٤٨– التيار المار في الفرع ab يساوي :

أ– $2\ A$ ب– $1.5\ A$ ج– $1\ A$ د– $0.5\ A$

٤٩– القدرة المستهلكة في المقاومة بين النقطتين e, g تساوي :

أ– $175\ Watt$ ب– $63\ Watt$ ج– $252\ Watt$ د– $112\ Watt$

٥٠– القدرة المستهلكة في المقاومة $6\ \Omega$ تساوي :

أ– $54\ Watt$ ب– $24\ Watt$ ج– $96\ Watt$ د– $150\ Watt$

٥١– القدرة المستهلكة في المقاومة $12\ \Omega$ تساوي :

أ– $3\ Watt$ ب– $27\ Watt$ ج– $12\ Watt$ د– $48\ Watt$

٥٢– القدرة المستهلكة في المقاومات في الفرع ab تساوي :

أ– $27\ Watt$ ب– $3\ Watt$ ج– $12\ Watt$ د– $48\ Watt$

٥٣– القدرة الكلية المستهلكة في الدائرة تساوي :

أ– $60\ Watt$ ب– $120\ Watt$ ج– $180\ Watt$ د– $360\ Watt$

٥٤– الموجة الأكثر شيوعا من موجات التيار المتناوب هي :

أ–المربعة ب–سن المنشار ج–الجيبية د–المثلثة .

٥٥– القيمة من القمة إلى القاع (Peak-to-Peak) تساوي :

أ– $2\,V_{rms}$ ب– $2\,V_{max}$ ج– $\sqrt{2}\,V_{max}$ د– $\sqrt{2}\,V_{rms}$.

٥٦–القيمة الفعالة للموجة الجيبية يرمز لها بالرمز :

أ– V_{rms} ب– V_{max} ج– V_{av} د– V_{min} .

٥٧–القيمة العظمى لموجة جيبية قيمتها الفعالة $115\ V$ تساوي :

أ– $115\ V$ ب– $162.64\ V$ ج– $230\ V$ د– $81.32\ V$.

٥٨–الزمن الدوري لموجة جيبية ترددها $1\ MHz$ يساوي :

أ– $1\ \mu s$ ب– $10\ ms$ ج– $10^6\ s$ د– $100\ \mu s$.

٥٩–تردد موجة جيبية زمنها الدوري $1\ ms$ يساوي :

أ– $1\ MHz$ ب– $1\ KHz$ ج– $1\ Hz$ د– $10\ KHz$.

٦٠–سعة المكثف تتناسب مع :

أ–مساحة الصفائح ب–المسافة بين الصفائح

ج– نوعية العازل بين الصفائح د–كل ما ذكر .

٦١- عند تطبيق جهد متناوب على طرفي مكثف مثالي فإن زاوية فرق الطور بين الجهد والتيار تساوي :

أ- 60° ب- 90° ج- 45° د- 45°.

٦٢-في الدوائر الكهربائية التي تتألف من مقاومة موصولة على التوالي مع مكثف (*RC Series Circuit*) يكون فيها جهد المصدر V_S :

أ-يتقدم على V_R ب-يتأخر عن V_R

ج-ينطبق على V_R د-لاشيء مما ذكر.

٦٣-المفاعلة الحثية للملف تتناسب مع التردد بشكل :

أ-طردي ب-عكسي ج-لوغرتمي د-كل ما ذكر .

٦٤-شرط تحقق الرنين في الدوائر الكهربائية الموصولة على التوالي هو :

أ- $V_L = V_C$ ب- $X_L = X_C$ ج- $L = C$ د-الخياران (أ) و(ب).

٦٥- بزيادة التردد في الدوائر الكهربائية فإن X_L :

أ-تزداد ب-تقل ج-تبقى كما هي د-لاشيء مما ذكر .

٦٦- بزيادة التردد في الدوائر الكهربائية فإن X_C :

أ-تزداد ب-تقل ج-تبقى كما هي د-لاشيء مما ذكر .

٦٧-لدائـــرة رنين توالٍ *RLC* إذا كانت $R = 500\ \Omega$ و $X_L = 250\ \Omega$ فإن قيمة X_C تساوي :

أ- $250\ \Omega$ ب- $2\ \Omega$ ج- $125\ \Omega$ د- $500\ \Omega$.

٦٨-إذا مـــر تيار مستمر شدته $I = 1A$ من خلال ملف حثه الذاتي $L = 10mH$ فان مفاعلة الملف الحثية تساوي :

أ- 0Ω ب- 314Ω ج- 31.4Ω د- $\infty\ \Omega$.

٦٩- في دوائر رنين التوالي فإن قيمة التيار الكلي :

أ-كبيرة ب-قليلة ج-تبقى بدون تغيير د-لاشيء مما ذكر .

٧٠- في دوائر رنين التوالي فإن قيمة الممانعة الكلية للدائرة :

أ-كبيرة ب-قليلة ج-تبقى بدون تغيير د-لاشيء مما ذكر .

٧١- الجهد يتغير مع الزمن حسب العلاقة $v_{(t)} = 140\, sin(314t + 30)V$ ، فإن القيمة الفعالة لهذا الجهد تساوي :

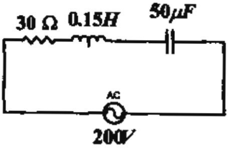
أ- $\frac{140}{\pi}V$ ب- $314\,V$ ج- $30\,V$ د- $\frac{140}{\sqrt{2}}V$.

٧٢-المفاعلة السعوية لمكثف سعته $C = 1\mu F$ عند تردد $f = 50H_z$ تساوي :

أ- $2\pi \times 50 \times 10^{-6}\,\Omega$ ب- $2\pi \times 50 \times 10^{6}\,\Omega$

ج- $\frac{10^{-6}}{2\pi \times 50}\,\Omega$ د- $\frac{10^{6}}{2\pi \times 50}\,\Omega$

للدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (٣) اختر الإجابة الصحيحة للأسئلة من الرقم (٧٣) لغاية الرقم (٨٠) :



شكل (٣)

٧٣-المفاعلة الحثية للملف تساوي :-

أ- 47.1Ω ب- 471Ω ج- 4.71Ω د- 0.471Ω

٧٤–المفاعلة السعوية للمكثف تساوي:–

أ– $0.637\,\Omega$ ب– $6.37\,\Omega$ ج– $63.7\,\Omega$ د– $637\,\Omega$

٧٥– الممانعة الكلية للدائرة تساوي :

أ– $34.3\,\Omega$ ب– $3.43\,\Omega$ ج– $0.343\,\Omega$ د– $343\,\Omega$

٧٦– التيار الكلي للدائرة يساوي :

أ– $0.583\,A$ ب– $5.83\,A$ ج– $58.3\,A$ د– $583\,A$

٧٧–الجهد على طرفي الملف يساوي :

أ– $2.746\,V$ ب– $27.46\,V$ ج– $274.6\,V$ د– $0.2746\,V$

٧٨–الجهد على طرفي المكثف يساوي :

أ– $37.41\,V$ ب– $371.4\,V$ ج– $3.741\,V$ د– $0.3741\,V$

٧٩– معامل القدرة للدائرة يساوي :

أ– 0.875 ب– 0.6 ج– 0.5 د– 0.4

٨٠–القيمة العظمى للجهد تساوي :

أ– $200\sqrt{2}\,V$ ب– $200\,V$ ج– $\frac{200}{\sqrt{2}}\,V$ د– $\frac{200}{\pi}\,V$

دائـــرة كهربائـــية مؤلفة من مقاومة $40\,\Omega$ وملف $L = 0.203\,H$ ومكثف $C = 50\,\mu F$ موصـــولة على التوالي عبر مصـدر جهد $220\,V$ تردده $50\,Hz$. اختر الإجابة الصحيحة للأسئلة من الرقم (٨١) ولغاية الرقم (٩٢) .

٨١–المفاعلة الحثية للملف تساوي :

أ– $37.6\,\Omega$ ب– $63.7\,\Omega$ ج– $67.3\,\Omega$ د– $73.6\,\Omega$

٨٢–المفاعلة السعوية للمكثف تساوي :

أ– $37.6\,\Omega$ ب– $63.7\,\Omega$ ج– $67.3\,\Omega$ د– $73.6\,\Omega$

٨٣–الممانعة الكلية للدائرة تساوي :

أ– $10\ \Omega$ ب– $20\ \Omega$ ج– $30\ \Omega$ د– $40\ \Omega$

٨٤–التيار الكلي للدائرة يساوي :

أ– $5.5\ A$ ب– $7.33\ A$ ج– $11\ A$ د– $22\ A$

٨٥–الجهد على طرفي المقاومة يساوي :

أ– $330.3\ V$ ب– $110\ V$ ج– $350.35\ V$ د– $220\ V$

٨٦–الجهد على طرفي الملف يساوي :

أ– $330.3\ V$ ب– $110\ V$ ج– $350.35\ V$ د– $220\ V$

٨٧–الجهد على طرفي المكثف يساوي :

أ– $330.3\ V$ ب– $110\ V$ ج– $350.35\ V$ د– $220\ V$

٨٨–زاوية فرق الطور بين التيار والجهد للدائرة تساوي :

أ– 0° ب– 90° ج– 45° د– 180°

٨٩–معامل القدرة للدائرة يساوي :

أ– 1 ب– 0 ج– $\frac{1}{\sqrt{2}}$ د– -1

٩٠–القدرة الظاهرية للدائرة تساوي :

أ– $1120\ V.A$ ب– $1220\ V.A$ ج– $1210\ V.A$ د– $0\ V.A$

٩١–القدرة الفعالة للدائرة تساوي :

أ– $0\ Watt$ ب– $1220\ Watt$

ج– $1210\ Watt$ د– $112\ Watt$

٩٢–القدرة غير الفعالة للدائرة تساوي :

أ– $0\ VAR$ ب– $1220\ VAR$ ج– $1210\ VAR$ د– $1120\ VAR$

٩٣-بزيادة عدد اللفات لملف كهربائي فإن شدة المجال المغناطيسي :

أ-تزداد ب-تقل ج-تبقى بدون تغير د-لاشيء مما ذكر .

٩٤- وحدة قياس الفيض المغناطيسي هي :

أ-الويبر ب-التسلا ج-ماكسويل د-لاشيء مما ذكر .

٩٥- وحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسي هي :

أ-الويبر ب-التسلا ج-ماكسويل د-لاشيء مما ذكر .

٩٦- معامل النفاذية المطلقة للهواء يساوي :

أ- 1 ب- 4π ج- 1.25×10^{-6} د-لاشيء مما ذكر .

٩٧- معامل النفاذية النسبية للهواء يساوي :

أ- $1\frac{Henry}{m}$ ب- $4\pi\times10^{-7}\frac{Henry}{m}$

ج- $1.25\times10^{-6}\frac{Henry}{m}$ د-لاشيء مما ذكر .

٩٨- شدة المجال المغناطيسي تعطى بالعلاقة :

أ- $\frac{I\times N}{\Phi}$ ب- $I\times N\times l$ ج- $\frac{N\times I}{l}$ د-لاشيء مما ذكر .

٩٩- ملف عدد لفاته $100T$ يمر به تيار قيمته $2A$ فإذا كان طول هذا الملف يساوي $40m$ فان شدة المجال المغناطيسي لهذا الملف تساوي :

أ- $5\frac{AT}{m}$ ب- $2.5\frac{AT}{m}$ ج- $0.8\frac{AT}{m}$ د- $1.25\frac{AT}{m}$.

حلقة مغناطيسية قطرها الوسطي $21cm$ ومساحة مقطعها $10cm^2$، الحلقة مقسومة إلى قسمين متساويين من معدنين مختلفين هما الحديد المطاوع والفولاذ بينهما فجوة هوائية من كلا الطرفين طولها $0.2mm$.

إذا علمت أن معامل النفاذية النسبية للحديد المطاوع يساوي 800 وللفولاذ يساوي 166 ، و الفيض المغناطيسي يساوي $8\times10^{-4}\,Wb$. اختر الإجابة الصحيحة للأسئلة من الرقم (١٠٠) لغاية الرقم (١١٠) .

١٠٠–كثافة الفيض المغناطيسي تساوي:

أ– $5\dfrac{Wb}{m}$ ب– $0.2\dfrac{Wb}{m}$ ج– $0.8\dfrac{Wb}{m}$ د– $1.25\dfrac{Wb}{m}$.

١٠١– شدة المجال المغناطيسي في الفجوة الهوائية تساوي :

أ– $2.55\times10^{5}\ \dfrac{AT}{m}$ ب– $4.56\times10^{5}\ \dfrac{AT}{m}$

ج– $5.36\times10^{5}\ \dfrac{AT}{m}$ د– $6.366\times10^{5}\ \dfrac{AT}{m}$.

١٠٢– طول الثغرة الهوائية يساوي :

أ– $0.1\,mm$ ب– $0.2\,mm$ ج– $0.3\,mm$ د– $0.4\,mm$.

١٠٣– القوة الدافعة المغناطيسية في الثغرة الهوائية تساوي :

أ– $0\,AT$ ب– $100\,AT$ ج– $255\,AT$ د– $200\,AT$.

١٠٤– شدة المجال المغناطيسي للحديد المطاوع تساوي :

أ– $744\dfrac{AT}{m}$ ب– $756\dfrac{AT}{m}$ ج– $796\dfrac{AT}{m}$ د– $766\dfrac{AT}{m}$.

١٠٥–الطول الوسطي للحديد المطاوع يساوي :

أ– $0.1\,mm$ ب– $0.2\,mm$ ج– $0.33\,mm$ د– $0.4\,mm$.

١٠٦–القوة الدافعة المغناطيسية للحديد المطاوع تساوي :

أ– $0\,AT$ ب– $236\,AT$ ج– $255\,AT$ د– $200\,AT$.

١٠٧– شدة المجال المغناطيسي للفولاذ تساوي :

أ– $3835\dfrac{AT}{m}$ ب– $6538\dfrac{AT}{m}$ ج– $5683\dfrac{AT}{m}$ د– $6385\dfrac{AT}{m}$.

١٠٨- الطول الوسطي للفولاذ يساوي :

أ- $0.1\ mm$ ب- $0.2\ mm$ ج- $0.33\ mm$ د- $0.4\ mm$.

١٠٩- القوة الدافعة المغناطيسية للفولاذ تساوي :

أ- $0\ AT$ ب- $1256\ AT$ ج- $1255\ AT$ د- $1200\ AT$.

١١٠- القوة الدافعة المغناطيسية الكلية تساوي:

أ- $0\ AT$ ب- $1783\ AT$ ج- $1746\ AT$ د- $1691\ AT$.

١١١-نسبة التحويل لمحول أحادي الطور عدد لفات ملفه الابتدائي $100T$ وعدد لفات ملفه الثانوي $1000T$ تساوي :

أ- 0.01 ب- 0.1 ج- 10 د- 100

١١٢-ملف مربع الشكل طول ضلعه يساوي $10cm$ وكثافة الفيض له $B = 0.5 \frac{Wb}{m^2}$ ، الفيض الكلي المخترق لهذا الملف بشكل عامودي يساوي :-

أ- $\Phi = 5\ Wb$ ب- $\Phi = 0\ Wb$

ج- $\Phi = 0.05\ Wb$ د- $\Phi = 0.01\ Wb$

١١٣-في آلة التيار المباشر فإن الجزء الذي يدور هو:

أ-المحرض. ب-المتحرض. ج-المحرض والمجمع. د-المتحرض والمجمع.

١١٤-في آلة التيار المباشر إذا علمت أن Z عدد النواقل الكلية في المتحرض و P عدد أزواج الأقطاب و a عدد أزواج المسارات الفرعية فإن الثابت الكهربائي Ce يعطى بالعلاقة :

أ- $\frac{P\,Z}{2\pi\,a}$ ب- $\frac{P\,Z}{60\,a}$ ج- $\frac{P\,a}{2\pi\,Z}$ د- $\frac{P\,a\,Z}{2\pi}$

١١٥-إن الآلة التي تعمل كمعزز للجهد (Booster) هي :

أ-مولد تهيج التوازي. ب-مولد التهيج المستقل .

ج-مولد تهيج التوالي. د-مولد التهيج المركب.

١١٦-إن محـــرك التيار المباشر ذا التهيج المستقل يشبه في خواصه نوعاً ما المحرك ذا تهيج :

أ-التوازي ب-التوالي. ج-المركب الطويل. د-المركب القصير.

١١٧- إن آلة التيار المباشر التي تحتاج إلى مصدرين للجهد المباشر هي:

أ-مولد التهييج المستقل . ب- محرك التهيج المستقل .

ج- محرك التهيج المختلط. د-محرك تهيج التوازي.

١١٨- من شروط إحداث التهييج الذاتي في مولد التيار المباشر من نوع تواز:

أ-أن تكون مقاومة دارة التهييج أقل من قيمة معينة وهي القيمة الحرجة.

ب-أن يكون عزم الإقلاع للمولد عالياً جداً.

ج-أن تكون سرعة المولد أقل من القيمة الحرجة.

د-كل ما ذكر.

١١٩-إن الجمع في آلة التيار المباشر يتألف من مجموعة من القطع:

أ-الكربونية المعزولة. ب-الكربونية غير المعزولة.

ج-النحاسية المعزولة. د-النحاسية غير المعزولة.

١٢٠-إذا علمت أن C_e الثابت الكهربائي لآلة التيار المباشر و C_m الثابت الميكانيكي لها و Φ الفيض المغناطيسي للقطب فإن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في آلة التيار المباشر تعطى بالعلاقة :

أ- $E = C_m \Phi I_a$ ب- $E = C_m \Phi n$

ج- $E = C_e \Phi I_a$ د- $E = C_e \Phi n$

١٢١– مولد تيار مباشر رباعي الأقطاب ، عدد المسارات الفرعية لملفات المتحرض 2 وعدد النواقل الكلية 2000 ناقل . الثابت الكهربائي لهذا المولد يساوي :

أ– 66.7　　ب– 33.3　　ج– 637　　د– 500

١٢٢– الثابت الميكانيكي لنفس المولد السابق (الفرع ١٢١) يساوي :

أ– 66.7　　ب– 33.3　　ج– 637　　د– 500

١٢٣– مولـــد تـــيار مباشـــر يدور بسرعة 1500 *r.p.m* والثابت الكهربائي له 60 والفيض المغناطيسي لكل قطب 6 *mWb* فإن قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المتحرض E تساوي :

أ– 450 V　　ب– 540 V　　ج– 220 V　　د– 380 V .

١٢٤–لزيادة القوة الدافعة الكهربائية E في مولد التهييج المباشر من نوع تواز:

أ–نزيد السرعة　　ب–نقلل عدد الأقطاب

ج–نزيد عدد المسارات الفرعية لملف المتحرض　　د–كل ما ذكر .

١٢٥– وحدة قياس السرعة الدورانية لآلة التيار المباشر هي :

أ– *r.p.v.*　　ب– *r.p.m.*　　ج– $\frac{m}{s}$　　د– $\frac{r.p}{m}$

١٢٦–عند وصل مقاومة خارجية مع الدوار فإن المحرك في هذه الحالة يسمى المحرك :

أ–الحثي ذا الوجه المشطور.　　ب–الحثي ذا الدوار الملفوف.

ج–الحثي ذا القفص السنجابي.　　د– المتواقت .

١٢٧– إن المحرك الذي له سرعة ثابتة هو المحرك :

أ–الحثي ذو الوجه المشطور.　　ب– المتواقت .

ج– الحثي ذو حلقات الانزلاق.　　د–الحثي ذو القفص السنجابي .

١٢٨-إن المحرك الذي يحتاج إلى تغذية تيار مباشر هو المحرك:

أ-الحثي ذو الوجه المشطور. ب- المتوافت .

ج- الحثي ذو حلقات الانزلاق. د-الحثي ذو القفص السنجابي .

١٢٩-سميت الآلة المتوافقة بهذا الاسم لأن الانزلاق لها يساوي.

أ- 0 ب- 1 ج- ∞ د-القيمة الاسمية .

١٣٠-إن سرعة التوافت للآلة تتناسب :

أ-طردياً مع التردد وعدد الأقطاب.

ب-عكسياً مع التردد وعدد الأقطاب.

ج-طردياً مع التردد وعكسياً مع عدد الأقطاب.

د-عكسياً مع التردد وطردياً مع عدد الأقطاب.

١٣١-عند دوران المحرك الحثي ثلاثي الأطوار فإن تردد تيار الدوار يكون:

أ-أكبر من تردد تيار الثابت. ب-أقل من تردد تيار الثابت.

ج-يساوي تردد تيار الثابت. د-يساوي الصفر .

١٣٢-إن وظيفة ملف البدء "الاقلاع " في المحرك الحثي ذي الوجه المشطور هي:

أ-تحسين معامل القدرة. ب-إقلاع المحرك.

ج-زيادة كفاءة المحرك. د-كل ما ذكر.

١٣٣-عند تلف ملفات الإقلاع والمحرك الحثي ذو الوجه المشطور دائر فإن المحرك :

أ-يقف. ب-يستمر بالدوران. ج-يتلف. د-يغير اتجاه دورانه.

١٣٤- المحرك الذي يمكن تغيير سرعته بتغيير مقاومة الدوار هو المحرك:

أ-ذو الوجه المشطور. ب-المتوافت .

ج-ذو القفص السنجابي . د-ذو حلقات الانزلاق.

١٣٥-محـــرك حثي ثلاثي الأطوار سرعة الدوار له 1440 دورة في الدقيقة فإن سرعة التواقت له بالدورة لكل دقيقة تـساوي :

أ- 3000　　ب- 1000　　ج- 2000　　د- 1500

١٣٦-محـــرك حـــثي ثلاثي الأطوار رباعي الأقطاب تردده $50\ Hz$ فإن سرعة المجال المغناطيسي له تـساوي "دورة لكل دقيقة":

أ- 3000　　ب- 1000　　ج- 2000　　د- 1500

١٣٧- محـــرك حثي ثلاثي الأطوار سرعته 1600 دورة لكل دقيقة وعدد أقطابه 4 وتردده $60\ Hz$ فإن الانزلاق له يساوي :

أ- $11\ \%$　　ب- $20\ \%$　　ج- $50\ \%$　　د- $15\ \%$

١٣٨-محرك تيار مباشر له ثابت كهربائي يساوي $C_e = 5$ وعدد النواقل الكلي يساوي $Z = 300$ وعدد ازواج المسـارات الفرعية يساوي $a = 6$ فان عدد الأقطاب لهذا المحرك يساوي :

أ- 6　　ب- 8　　ج- 12　　د- 10

١٣٩-محرك حثي ثلاثي الأطوار سرعة دورانه تـساوي $n = 1440 r.p.m$ والانزلاق له يساوي 4% فان سرعة المجال المغناطيسي لهذا المحرك تـساوي :

أ- $1380 r.p.m$　　ب- $1500 r.p.m$　　ج- $1\ r.p.m$　　د- $0\ r.p.m$

١٤٠-إن وظيفة الفرش الكربونية (الفحمات) في آلات التيار المباشر هي :-

أ-إدخال التيار واخراجه من الآلة　　ب-توليد الفيض المغناطيـــي

ج-إخراج التيار من الآلة فقط　　د-إدخال التيار إلى الآلة فقط .

١٤١–يعني ظهور دائرة على الشاشة عند استخدام راسم الإشارة Oscilloscope لإيجاد زاوية فرق الطور بين إشارتين جيبيتين لهما نفس التردد أن قيمة زاوية فرق الطور:–

أ– 90° ب– 180° ج– 45° د– 0°

١٤٢–البوتنشيوميتر Potentiometer من حيث المبدأ جهاز يستخدم للمقارنة بين:

أ–تيارين مختلفين .

ب–التيار والفولطية في الدائرة الكهربائية .

ج– القدرة والتيار في الحمل .

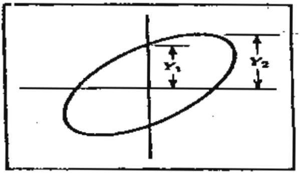
د– جهدين مختلفين .

١٤٣–تتضمن الأنبوبة الإلكترونية (أنبوبة الأشعة المهبطية) CRT في راسم الإشارة (الأوسيلوسكوب):

أ–مولد المسح . ب–دائرة القدح .

(ج) مصادر القدرة . (د) مجموعة صفائح الانحراف .

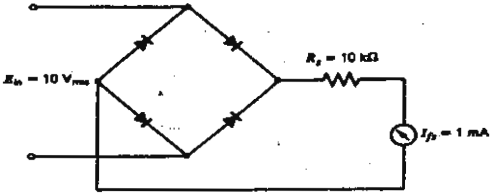
١٤٤–إذا كان $Y_1 = 1.8$ cm و $Y_2 = 2.3$ cm فإن زاوية الطور Phase angle الخاصة بشكل ليساجو التالي:–



أ– 30° . ب– 45° .

ج– 15.5° . د– 51.5° .

١٤٥–بالنسبة للشكل الآتي فإن القيمة المتوسطة dc Average Value تساوي:–



أ– 4.5 V . ب– 9 V . ج– 10 V . د– 13.5 V .

١٤٦– العبارة الصحيحة بالنسبة لجهاز القياس ذي المزدوج الحراري:–

أ– يستعمل عادة لقياس التيار المتناوب فقط.

ب– يمكن استخدامه لقياس تيار متناوب ذي ترددات عالية جداً.

ج– يستخدم لقياس التيارات المنخفضة فقط .

د– يتضمن زئبقاً من أجل تسخين المزدوج الحراري.

١٤٧– بالنسبة لقنطرة ويتستون ، فإنها :–

أ– تعد أحد أنواع أجهزة القياس المباشر .

ب– تصنف بأنها جهاز قياس تستخدم فيه المقارنة.

ج– يمكن الحصول على دقة عالية تصل إلى 0.1%.

د– {(ب) + (ج) } هما الخياران الصحيحان.

١٤٨–وظيفة عزم (التخميد) Damping Torque في أجهزة القياس ذات المؤشر Pointer :–

أ–زيادة حساسية جهاز القياس .

ب–تقليل تأثير العوامل الخارجية في أداء جهاز القياس .

ج–زيادة نطاق القياس .

د– الحد من اهتزازات المؤشر حول القيمة المقاسة .

١٤٩–المقاومة الداخلية لجهاز الفولتميتر :–

أ– عالية جداً .   ب– قليلة جداً .

ج– تساوي صفراً .   د– تساوي مالانهاية .

١٥٠–يمكن زيادة مدى (نطاق) القياس لجهاز الاميتر بربط مقاومة :–

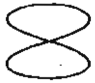
أ–عالية على التوالي مع الجهاز .   ب–منخفضة على التوالي مع الجهاز .

ج– منخفضة على التوازي مع الجهاز .   د–عالية على التوازي مع الجهاز .

١٥١–جهاز قياس ذو ملف متحرك يحتوي على مقوم نصف موجة حساسيته $S_{ac(HW)} = 900\,\Omega/V$ عند مدى $10V$ فان I_{fs} يساوي :–

أ– $50\mu A$.   ب– $500\mu A$.   ج– $50mA$.   د– $500mA$.

١٥٢–عند استخدام أشكال ليساجو لحساب تردد موجة مقارنة مع تردد موجة أخرى ظهر الشكل أدناه على شاشة جهاز راسم الإشارة فإذا كان تردد الإشارة المرجعية يساوي $50Hz$ (مع العلم بأن الإشارة المرجعية تم ادخالها على المدخل الأفقي للجهاز) ،فان تردد الموجة المقاسة يساوي :–



أ– $50Hz$.   ب– $25Hz$.   ج– $100Hz$.   د– $250Hz$.

١٥٣–الجهاز الذي يستخدم للقياس في دوائر التيار المتردد فقط هو جهاز القياس :–

أ–ذو الملف المتحرك .   ب–الكهروديناميكي .

ج–بحديدة متحركة .   د–الحثي .

١٥٤–وحدة قياس الحساسية (Sensitivity) هي :–

أ– V/A .   ب– Ω/V .   ج– V/Ω .   د– V/m .

١٥٥–إن جهاز القياس الذي تعتمد فيه القراءة على جهد التشغيل "البطارية " هو:

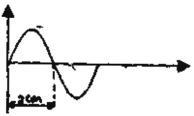
أ–الفولتميتر .   ب–الأمبير ميتر .   ج–الاوميتر .   د–الواطميتر .

١٥٦–في شكل ليساجو المبين في الشكل أدناه فان زاوية فرق الطور بين إشارة المدخل العمودي وإشارة المدخل الأفقي تساوي :–



أ–صفراً .   ب– °180 .   ج– °135 .   د– °45 .

١٥٧–إن تـردد الموجـة المبيـنة في الشكل أدناه إذا كان تدريج المفتاح $50\frac{\mu S}{cm}$ يساوي:–



أ– $500Hz$.   ب– $5KHz$.   ج– $10KHz$.   د– $1KHz$.

١٥٨–إن جهاز القياس الذي يستخدم مع دوائر AC, DC هو :–

أ–الحثي .   ب–ذو الحديدة المتحركة .

ج–ذو الملف المتحرك .   د–كل ما ذكر.

١٥٩–إن الزنبركات اللولبية في اجهزة القياس هي :–

أ–مادة مغناطيسية لتوليد عزم التخميد .

ب– مادة غير مغناطيسية لتوليد عزم التخميد.

ج– مادة مغناطيسية لتوليد عزم الإرجاع (التحكم) .

د– مادة غير مغناطيسية لتوليد عزم الإرجاع (التحكم) .

١٦٠–من عيوب جهاز القياس بحديدة متحركة :–

أ–عدم تحمله للتيارات الزائدة . ب–يستخدم في دوائر DC .

ج–تدريجه غير منتظم . د–كل ما ذكر .

١٦١–كلما قلت حساسية جهاز الفولتميتر فان ذلك يعني أن :–

أ–يقل التيار المار في الملف . ب–تزداد قيمة التيار المار في الملف .

ج–تزداد قيمة المقاومة الداخلية . د–تقل القدرة المستهلكة في ملف الجهاز .

١٦٢–تعطى وحدة حساسية الفولتميتر بالعلاقة :–

أ– $\frac{\Omega}{V}$. ب– $\frac{V}{\Omega}$. ج– $\frac{A}{\Omega}$. د– $\Omega.V$.

١٦٣–الجزء المتحرك لأجهزة القياس ذات المؤشر يخضع إلى :–

أ–عزم الانحراف . ب–عزم التحكم .

ج–عزم التخميد . د–كل ما ذكر .

١٦٤–يستخدم جهاز القياس ذو الملف المتحرك لقياس :–

أ–التيار المستمر والجهد المستمر . ب–التيار المتناوب والجهد المتناوب.

ج–التيارات ذات الترددات الراديوية . د–الخياران أ و ب .

١٦٥–الجهاز المناسب لقياس التيار المستمر فقط هو :–

أ–ذو الحديدة المتحركة . ب–ذو الملف المتحرك .

ج–الكهروديناميكي . د–ذو السلك الحراري .

١٦٦—جهاز قياس الجهد ذو الملف المتحرك يقيس :—

أ—الجهد المتناوب فقط . ب—الجهد المستمر فقط .

ج—الجهد المستمر والجهد المتناوب . د—لا شيء مما ذكر .

١٦٧—أي من الأجهزة التالية يستخدم لقياس التيار المتردد فقط ؟

أ—جهاز القياس الكهروديناميكي .

ب—جهاز القياس ذو الملف المتحرك .

ج—جهاز القياس الحثي .

د—جهاز القياس ذو الحديدة المتحركة .

١٦٨—إن وظيفة الزمبرك في أجهزة القياس هي :—

أ—توليد عزم الانحراف ب—منع ذبذبة المؤشر

ج—توليد القوة الدافعة المغناطيسية د— توليد عزم الإرجاع (التحكم) .

١٦٩— توصل على التوالي مع ملف القياس لجهاز قياس الجهد مقاومة من اجل إطالة مدى القياس وتحسب قيمة هذه المقاومة من العلاقات :

أ— $R_S = S.Range - R_m$ ب— $R_S = S.Range$

ج— $R_S = Range - R_m$ د— $R_S = S.Range + R_m$

١٧٠—في العداد العشري باستخدام أربعة نطاطات إذا كانت الحالة الابتدائية للنطاطات تساوي الصفر فانه بعد دخول عشر نبضات إلى هذا العداد تكون الحالة النهائية للنطاطات هي :—

أ— 1100 . ب— 1110 . ج— 1010 . د— 1101.

١٧١—إن الرقم (36) في النظام العشري يقابل في النظام الثنائي الرقم :—

أ- 011011 . ب- 100100 . ج- 010101 . د- 101010 .

١٧٢-في حالة العمل الطبيعية للترانزستور إحدى العبارات التالية صحيحة :

أ-وصلة القاعدة -المجمع منحازة انحازا أماميا .

ب-وصلة القاعدة -الباعث منحازة انحيازا عكسيا .

ج-وصلة القاعدة -الباعث منحازة انحيازا أماميا.

د-وصلة الباعث -المجمع منحازة انحيازا عكسيا .

١٧٣-الديود الذي يستخدم في تنظيم الجهد (تثبيت الجهد) هو :-

أ-الديود العادي ب- الديود الضوئي

ج-ديود الإشعاع الضوئي د- ديود زنر

١٧٤-إذا كان عامل الانصهار لمنصهر يساوي 1.5 وتيار الانصهار الأصغر يساوي $30A$ فان التيار الاسمي للمنصهر يساوي :-

أ- $10A$ ب- $45A$ ج- $20A$ د- $15A$

١٧٥-مخرج البوابة المنطقية (و) AND يساوي الواحد عندما يكون :-

أ-كلا المدخلين يساوي الصفر ب-كلا المدخلين يساوي الواحد

ج-المدخل الأول يساوي الصفر د-المدخل الثاني يساوي الصفر .

١٧٦-عشرون خلية جافة ، القوة الدافعة الكهربائية لكل منها تساوي $1.5V$ ومقاومتها الداخلية تساوي $r = 4\Omega$ وصلت على التوازي مع حمل قيمته $R = 2.3\,\Omega$ ، قيمة التيار المار في الحمل يساوي :-

أ- $360mA$ ب- $600mA$ ج- $450mA$ د- $240mA$

١٧٧–الخلية الشمسية هي جهاز يقوم ب :–

أ–تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة حركية

ب–تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية

ج–تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة مغناطيسية

د–تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية .

١٧٨–أربعون خلية جافة القوة الدافعة الكهربائية لكل منها تساوي $1.5V$ ومقاومتها الداخلية 0.5Ω ، وصلت هذه الخلايا بشكل مركب حيث يوصل كل ثمانية خلايا على التوالي لتشكل خمس مجموعات على التوازي ، إذا وصلت هذه الخلايا مع مقاومة قدرها 2.2Ω ، قيمة تيار الحمل تساوي :

أ– $4\,A$ ب– $6\,A$ ج– $4.5\,A$ د– $2.4\,A$

١٧٩–كسب الجهد في المكبر يعطى بالعلاقة :–

أ– $\frac{P_{out}}{P_{in}}$ ب– $\frac{V_{in}}{V_{out}}$ ج– $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ د– $\frac{I_{out}}{I_{in}}$

١٨٠– يتمثل العمل الطبيعي لنظام القدرة بتوليد وإرسال الطاقة وتغذية المستهلكين ب:

أ– جهد وتردد ثابتين . ب–جهد وتيار ثابتين .

ج–تردد و تيار ثابتين . د–تردد وقدرة ثابتين .

١٨١– تعرف المرحلات الأولية بأنها المرحلات التي :

أ–تأخذ المقادير المغذية من خلال الملف الابتدائي لمحول الجهد .

ب–تأخذ المقادير المغذية من خلال الملف الابتدائي لمحول التيار .

ج–تأخذ المقادير المغذية من خلال الملف الثانوي لمحول الجهد .

د–تأخذ المقادير المغذية مباشرة من مصدر التغذية .

١٨٢- توصل مرحلات القدرة :

أ- مباشرة مع مصدر التغذية . ب- من خلال محول الجهد .

ج- من خلال محول تيار . د- من خلال محول جهد ومحول تيار .

١٨٣-تسمى المرحلات التي تحس ظهور أو اختفاء المقادير المغذية :

أ-مرحلات قياس . ب-مرحلات مساعدة .

ج- مرحلات زيادة التيار . د- مرحلات انخفاض الجهد .

١٨٤- يعتمد مبدأ عمل المرحلات الكهرومغناطيسية على :

أ-القوى المتبادلة بين ذراع المتحرض والفيض المغناطيسي الناشئ عن المغناطيس الدائم.

ب- القوى المتبادلة بين الفيض المغناطيسي الناشئ عن المغناطيس الدائم والمجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار الملف المتحرك .

ج-التأثير المتبادل بين المجالين المغناطيسيين والتيارات الدوامية "الإعصارية" المتحرضة في الجزء المتحرك .

د-التغير في قيمة مقاومة حساسة خاصة .

١٨٥-تعرف المرحلات الثانوية بأنها المرحلات التي توصل :

أ-مباشرة مع مصدر التغذية .

ب- من خلال الطرف الثانوي لمحولات القدرة .

ج-الطرف الثانوي لمحولات القياس .

د-من خلال الطرف الثانوي لمحولات التردد .

١٨٦- أحد المرحلات التالية يعتبر مرحل قياس :

أ-المرحل الوسيط . ب- مرحل زيادة التيار .

ج-مرحل الإشارة . د-المرحل الزمني .

١٨٧- إن وظيفة المرحل في النظام الكهربائي هي :
أ-فصل الدائرة الكهربائية ذاتياً .
ب-إعطاء الأمر للقاطع الآلي (CB) بفصل الدائرة .
ج-إعطاء الأمر للمولد بالتوقف عن العمل .
د-إعطاء الأمر لمحطة التحويل بالتوقف عن العمل .

١٨٨- يستخدم المصهر للحماية من :
أ- زيادة التحميل فقط .
ب-حالات القصر فقط .
ج-زيادة التحميل والقصر .
د-التحميل الزائد قصير الأمد .

١٨٩- تتوقف درجة حرارة المصهر على :
أ- قيمة التيار المار فيه .
ب-نوع المادة التي يصنع منها .
ج-أبعاد المصهر .
د-كل ما ذكر .

١٩٠- عادة تكون مساحة مقطع عنصر الانصهار للمصهر :
أ-مساوية لمساحة مقطع الموصلات المستخدمة في الدائرة الكهربائية المراد حمايتها .
ب-أكبر من مساحة مقطع الموصلات المستخدمة في الدائرة الكهربائية المراد حمايتها .
ج-أقل بكثير من مساحة مقطع الموصلات المستخدمة في الدائرة الكهربالية المراد حمايتها .
د-أقل بقليل من مساحة مقطع الموصلات المستخدمة في الدائرة الكهربائية المراد حمايتها .

١٩١-تملأ المصهرات الأنبوبية أحيانا بالرمل أو الكوارتز من اجل :
أ-تقليل تيار العطل .
ب-زيادة التيار الاسمي الذي يتحملة المصهر .
ج-المساعدة في عملية إطفاء القوس الكهربائي .

د–زيادة المقاومة الميكانيكية للمصهر .

١٩٢– يكون التيار الاسمي للمصهر عادة :

أ–مساوياً تماماً لتيار الدائرة المستخدم لحمايتها .

ب– أكبر قليلاً من تيار الدائرة المستخدم لحمايتها .

ج–أقل من تيار الدائرة المستخدم لحمايتها .

د–مساوياً لضعف تيار الدائرة المستخدم لحمايتها .

١٩٣–إن العلاقة بين زمن عمل المصهر والتيار المار فيه هي علاقة :

أ– خطية . ب– تربيعية .

ج–لا يوجد علاقة بين الزمن والتيار . د–تكعيبية .

١٩٤– السائل المستخدم في مصهرات القدرة ذات الإطفاء السائل هو :

أ–رابع كلوريد الكربون . ب–زيت المحولات .

ج–غاز SF_6 مضغوط . د–سائل الصوديوم .

١٩٥–تتميز المصهرات ثنائية المعدن ب :

أ–أن لها استطاعة قطع عالية .

ب–أنها تعمل على الحد من تيارات العطل الكبيرة .

ج–وجود تأخير زمني مما يسمح باستخدامها لحماية الآلات التي يوجد فيها تيارات دفعية.

د–كل ما ذكر .

١٩٦– تعرف سعة القطع (استطاعة القطع) للمصهر بأنها :

أ–اكبر استطاعة ب KW يستطيع المصهر قطعها عند التيار الاسمي والجهد الاسمي .

ب–اكبر استطاعة ب KVA يستطيع المصهر قطعها عند التيار الاسمي والجهد الاسمي .

ج- اكبر استطاعة بِ KVA يستطيع المصهر قطعها عند تيار القصر الأعظمي والجهد الاسمي .

د- اكبر استطاعة بِ $KVAR$ يستطيع المصهر قطعها عند تيار القصر الأعظمي والجهد الاسمي .

١٩٧- هـــنالك خاصية يجب توفرها في المصهرات وهي أن المصهر الأقرب إلى نقطة العطل هو الذي عليه أن يفصل الدائرة ، هذه الخاصية تســمى :

أ- الموثوقية . ب-الحساسية . ج- الانتقائية . د-الاقتصادية .

١٩٨-تستخدم قواطع الدائرة ذات الجهد العالي في :

أ- خطوط النقل الهامة . ب-دوائر الإنارة .

ج-محطات التحويل المهمة . د-دوائر مولدات محطة التحويل .

١٩٩- يعمل قاطع الدائرة على :

أ-فصل ووصل الدائرة في حالات العمل الطبيعية فقط .

ب- فصل ووصل الدائرة في حالات العمل غير الطبيعية فقط .

ج- فصل ووصل الدائرة في حالات العمل الطبيعية وغير الطبيعية .

د- قاطع الدائرة لا يقوم بعملية الفصل ، بل الذي يقوم بذلك هو المرحل .

المصطلحات العلمية المستعملة في الكتاب

إنكليزي — عربي

المصطلح بالإنجليزية	المصطلح بالعربية
Absolute permittivity	نفاذية مطلقة
Acceptor impurities	شوائب قابلة
Active	فعال
Addmittance	مسايرة (سماحية)
Air Core	قلب هوائي
Air gap	فجوة هوائية
Alternating current (AC)	تيار متردد (متناوب)
Ammeter	أميتر
Ampere	أمبير
Amplitude	اتساع (مطال)
Anode	مصعد
Angular frequency	تردد زاوي
Apparent power	قدرة ظاهرية
Armature	متحرض
Armature reaction	رد فعل المتحرض
Average	متوسط

Back e.m.f.	قوة دافعة كهربالية عكسية
Balanced	متزن
Band	شريط (نطاق)
Base	قاعدة
Battery	بطارية
Bearing	حامل (كراسي تحميل)
Breakdown	انهيار
Bridge	جسر (قنطرة)
Brush	فرشة (فرشاة)
Capacitance	سعة
Capacitive reactance	مفاعلة سعوية
Capacitor	متسعة (مكثف)
Charge	شحنة
Circuit	دائرة
Circuit Breaker	قاطع كهربائي
Coefficient of coupling	معامل الاقتران
Coil	ملف
Collector	مجمع
Commutator	مبدل
Conductance	توصيلية
Conductivity	موصلية

Conductor	موصل
Control apparatus	جهاز سيطرة (تحكم)
Constant current generator	مولد التيار الثابت
Contact	ملامس (تماس)
Core teeth	أسنان اللب (المجاري)
Core type construction	تركيب ذو لب حديدي
Coulomb	كولوم
Current	تيار
Current division	تقسيم التيار
Device	أداة (نبيطة)
Diac	داياك
Diamagnetic	دايا مغناطيسية
Dielectric	العازل الكهربائي
Direct current (DC)	تيار مباشر (مستمر)
D.C. Commutation machine	آلة التيار المباشر ذات المبدل
Dipole	ثنائي القطب
Diode	صمام ثنائي بلوري
Doped	مطعم
Eddy current	تيار دوامي (إعصاري)
Effective Value	قيمة فعالة
Effieiency	كفاءة (مردود)

Electric amplifier	مضخم كهربائي
Electrodynamic instrument	جهاز كهروديناميكي
Electromagnetism	كهرومغناطيسية
Electromotive force (emf)	القوة الدافعة الكهربائية
Electronic System	نظام إلكتروني
Electrostatic	كهروستاتيكي
Emission	انبعاث
Emitter	باعث
Energy storage	خزن الطاقة
Extension of range	توسيع المدى
Farady's law	قانون فارادي
Ferrite	فيرايت
Ferromagnetic Core	قلب حديدي مغناطيسي
Fibre	فايبر (ليف)
Flux	فيض (تدفق)
Flux density	كثافة الفيض
Flux leakage	تسرب الفيض
Flux linkage	تشابك الفيض
Forward biasing	انحياز أمامي
Frequency	تردد
Fuse	مصهر (فيوز)

Generator	مولد
Heater	سخان
Henry	هنري
Hertz	هيرتز
Hole	فراغ (فجوة)
Horse power	حصان = 746 *Watt*
Ideal source	مصدر مثالي
Impedance	ممانعة
Impulse	نبضة
Indicating scale	لوحة مدرجة
Induced e.m.f.	قوة دافعة كهربائية محتثة
Inductance	محاثة
Induction motor	محرك حثي
In- phase	متحد في الطور (متطاور)
Input	دخل
Insulator	عازل
Integrated circuit	دائرة متكاملة
Integration energy meter	مقياس الطاقة التكاملي
Interaction	تداخل
Ionized	متأين
Junction	مفترق (وصلة)

Kirchhoff's laws	قوانين كيرشوف
KWh	كيلو واط ساعة
Lag	يتأخر
Lagging angle	زاوية تأخر
Lamp	مصباح
Lead	يتقدم
Leading angle	زاوية تقدم (سبق)
Leakage flux	فيض متسرب
Left hand rule	قاعدة اليد اليسرى
Lenz's law	قانون لنز
Load unit	وحدة الحمل
Loop	حلقة
Loss	فقد
Magnetic circuit	دائرة مغناطيسية
Magnetic flux	فيض مغناطيسي
Magnetic moment	عزم مغناطيسي
Magnetic surface	سطح ممغنط
Magnetomotive force (m.m.f.)	قوة دافعة مغناطيسية
Majority carriers	الحاملات الغالبة
Measuring instrument	جهاز قياس
Melting alloy relay	المرحل ذو السبيكة المنصهرة
Minority carriers	الحاملات الأقلية

Moment	عزم
Motor	محرك
Moving coil instrument	جهاز ذو ملف متحرك
Moving iron instrument	جهاز ذو حديدة متحركة
Multiplier	مضاعف
Multirange test instrument	جهاز فحص متعدد المدى
Mutual flux	فيض متبادل
Mutual inductance	حث متبادل
Negative charge	شحنة سالبة
Network	شبكة
Node	عقدة
No load	اللاحمل
Ohm's law	قانون أوم
Opeu circuit	دائرة مفتوحة
Oscillator	مذبذب
Output	خرج
Parallel	توازٍ
Parallel resonance	رنين التوازي
Paramagnetic	بارا مغناطيسية
Peak value	قيمة الذروة
Period	فترة
Permeability	النفاذية

Permittivity	السماحية
Phase	طور
Phase difference	فرق الطور
Phase diagram	مخطط طوري (اتجاهي)
Plunger	غاطس (مكبس)
p-n junction	وصلة موجب – سالب
Potential difference	فرق الجهد
Power	قدرة
Power diagram	مخطط القدرة
Power factor	معامل القدرة
Q- factor	معامل الجودة
Reactive power	قدرة غير فعالة
Rectifier circuit	دائرة تقويم
Relay	مرحل (زاجل)
Resistivity	المقاومة النوعية
Resonance	رنين
Resonance frequency	تردد الرنين
Reverse biased	منحاز عكسياً
Rheostat	مقاومة متغيرة
Right hand rule	قاعدة اليد اليمنى
Root mean square (R.M.S.)	جذر متوسط التربيع
Rotating machine	آلة دوارة

Rotation	حركة دورانية
Rotor	دوار
Self inductance	الحث الذاتي
Semiconductors	اشباه الموصلات
Series	توالٍ
Short circuit (S.C.)	دائرة قصر
Shunt motor	محرك توازٍ
Shunt generator	مولد توازٍ
Signal	إشارة
Silicon controlled rectifier (SCR)	مقوم السيليكون المنضبط
Silion controlled switch (SCS)	مفتاح السيليكون المنضبط
Single phase	طور واحد
Sinusoidal wave	موجة جيبية
Source	مصدر
Squirrel cage induction motor	محرك حثي ذو قفص سنجابي
Superposition theorem	نظرية التراكب
Switch	مفتاح
Synchronous	متواقت
Synchronous motor	محرك متواقت
System International (SI)	نظام الوحدات العالمي
Temperature coefficient	معامل درجة الحرارة
Thermal relay	مرحل حراري

Thyristor	ثايرستور
Torque	عزم
Transformer	محول
Transmission system	نظام النقل
Vector	متجه
Volt	فولت
Voltage divider	مقسم الجهد
Volt drop	هبوط الجهد
Voltmeter	فولتميتر
Watt	واط
Wattmeter	واطميتر
Wave	موجة
Weber	ويبر
Wheatstone bridge	قنطرة ويتستون
Work	شغل

المراجع

1- ***S.A. Boctor* , *Second Edition* .**
Electric Circuit Analysis .

2- ***B.L. Theraja & A.K. Theraja , Twenty - Second Edition- 2002.***
Electrical Technology .

3- ***Nigel P . Cook , Second Edition .***
Introductory DC/AC Electronics .

4- ***Thomas L . Floyd .***
Electric Circuits Fundamentals .

5- ***Vincent Del Toro , Second Edition .***
Electrical Engineering Fundamentals .

6- ***Robert L . Boylestad & Louis Nashelsky, 7 th Edition .***
Electronic Devices and Circuit Theory .

٧- الكهرباء التطبيقية .

المهندس محمد الطالب بني ياسين ، المهندس محمد منصور المعاني ، المهندس نصر يوسف غرايبة .

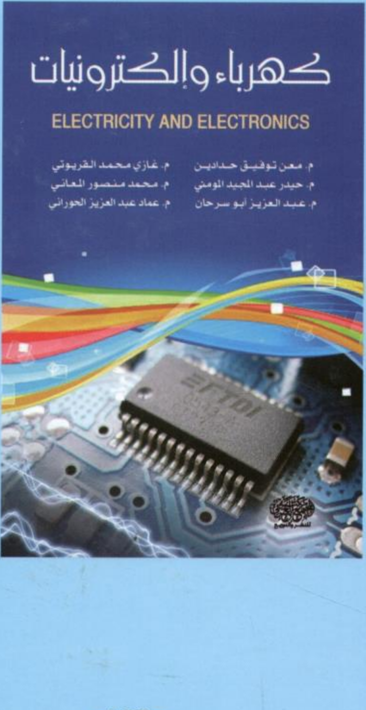
٨- القياسات الكهربائية والإلكترونية .

المهندس معن توفيق حدادين ، المهندس غازي محمد القريوتي .

٩- حماية نظم القدرة الكهربائية .

الدكتور المهندس ابراهيم صطيف .

كهرباء وإلكترونيات



مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

الأردن-عمان-وسط البلد- ش السلط - مجمع الفحيص التجاري- تلفاكس: 2739 463 6 962+
خلوي 5651920 79 962+ ص.ب 8244 الرمز البريدي 11121 جبل الحسين الشرقي
الأردن - عمان - الجامعة الأردنية - ش. الملكة رانيا العبدالله - مقابل كلية الزراعة - مجمع زهدي حصوة التجاري

www.muj-arabi-pub.com
E-mail:Moj_ pub@hotmail.com